



Kyösti Hannula

ILMATIIVEYDEN TOTEUTTAMINEN PUU- JA BETONIRUNKOIS- SISSA ASUINRAKENNUKSISSA

ILMATIIVEYDEN TOTEUTTAMINEN PUU- JA BETONIRUNKOISSA ASUINRAKENNUKSISSA

Kyösti Hannula
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, talon- ja korjausrakentaminen

Tekijä: Kyösti Hannula

Opinnäytetyön nimi: Ilmatiiveyden toteuttaminen puu- ja betonirunkoisissa asuinrakennuksissa

Työn ohjaajat: Kauko Tulla, OAMK

Jyrki Oikarinen, Kuusamon kaupunki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013 Sivumäärä: 58 + 1 liite

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä ilmatiiveyteen uudisrakennusten suunnittelussa ja rakentamisessa. Ilmatiiveys tulee olemaan tärkeässä osassa yhdessä ilmanvaihdon kanssa rakennettaessa energiataloudellisempia rakennuksia. Työn toimeksiantajana oli Kuusamon kaupunki.

Työn tavoitteena oli selvittää ilmatiiveysmittauksen avulla rakennuksessa mahdollisesti ilmeneviä vuotokohtia sekä sitä, mihin asioihin rakentamisessa tulee jatkossa suunnittelun ja työmaatoteutuksen osalta kiinnittää huomiota. Ilmatiiveysmittaus suoritettiin 3-kerroksisen kerrostalon ylimmän kerroksen kahdessa huoneistossa.

Työn ilmatiiveyden toteuttamisohjeessa keskityttiin ilmatiiveyteen oleellisesti vaikuttaviin rakenteellisiin seikkoihin liitosdetaljien kautta. Myös ikkuna- ja oviliitokset sekä läpiviennit otettiin toteuttamisohjeeseen yhdeksi tärkeäksi osaksi.

Opinnäytetyössä kävi ilmi, että jatkossa tulee kiinnittää huomiota rakennuksen toteutusvaiheessa ontelolaattasaumojen, ikkunakarmin ja rungon välisen sauman, läpivientien, lattian ja seinänrajan tiivistämiseen. Myös ikkuna- ja ovitiivisteet on syytä tarkistaa asennusvaiheen aikana.

Asiasanat:

Ilmatiiveys, ilmanvuotoluku, energiatehokkuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, House Building and Renovation

Author: Kyösti Hannula

Title of thesis: Implementation of Air Tightness in Residential Buildings of Wood and Concrete Frames

Supervisor(s): Kauko Tulla, Oulu University of Applied Sciences

Jyrki Oikarinen, city of Kuusamo

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2013 Pages: 58 + 1 appendix

The meaning of this thesis was to examine air tightness in designing and construction of new buildings. Air tightness will be in a very important part together with ventilation when building energy-saving houses. The client of this work was city of Kuusamo.

The object of this work was to find out the possible air leaks by measuring the air tightness in a building and by which things have to be paid attention to in designing and on the construction site in the future. The measurement of air tightness was done in the top floor of a three-storey apartment house.

The focus in the implementation instruction of air tightness was in essential active structural matter, more closely joint details. The joints of windows and doors and penetrations were included as an important part in the implementation instruction.

In this thesis it became clear that, in the future, attention has to be paid to the seams of cavity slabs, seams of window frames and frameworks, completions and sealing border of floors and walls. The window and door seals have to be checked during the installation.

Keywords:

Air tightness, number of airleak, energy efficiency

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 ENERGIATEHOKKUUS	10
2.1 Kokonaisenergiatarkastelu	10
2.2 Rakennusfysikaaliset seikat	11
3 ILMATIIVEYS	14
3.1 Ilmatiiveyden merkitys	15
3.2 Tuulensuoja	15
3.3 Ilmanvaihto	15
3.4 Ilmanvuotoluku	17
4 ILMATIIVEYSMITTAUS	22
4.1 Ilmanvuotokohtien paikantaminen	23
4.1.1 Lämpökuvaus	24
4.1.2 Merkkisavut	25
5 ILMATIIVEYDEN MITTAUS KOY KUUSAMON VUOKRATALOISSA	27
5.1 Mittauksen tavoite	27
5.2 Mittauksen toteutus	29
5.3 Mittauksen tulokset	31
6 ILMATIIVEYDEN TOTEUTTAMISOHJE	33
6.1 Maanvastainen alapohja	33
6.1.1 Maanvastainen alapohja ja betoni/kivirunkoinen ulkoseinä	33
6.1.2 Maanvastainen alapohja ja puurunkoinen ulkoseinä	35
6.2 Tuulettuva alapohja	36
6.2.1 Kivirakenteinen alapohja	36
6.2.2 Puurakenteinen alapohja	37
6.3 Välipohja	39

6.3.1 Välipohjan ja ulkoseinän liitos muovikalvon avulla	39
6.3.2 Välipohjan ja ulkoseinän liitos solumuovieristyslevyn avulla	40
6.4 Yläpohja-ulkoseinä	41
6.4.1 Puurakenteinen yläpohja ja kivirakenteinen ulkoseinä	41
6.4.2 Puurakenteinen yläpohja ja puurakenteinen ulkoseinä	42
6.4.3 Kivirakenteinen yläpohja-kivirakenteinen ulkoseinä	44
6.5 Ikkunat ja ovet	45
6.6 Läpiviennit	50
7 POHDINTA	54
LÄHTEET	56
LIITTEET	59

SANASTO

Diffuusio	on kaasun molekyyliden liikettä kaasun suuremmasta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen (Illikainen 2013).
Hengittävällä rakenteella	tarkoitetaan rakennetta, johon voi helposti siirtyä ympäristöstä diffuusiolla vesihöyryä ja jossa vesihöyry voi sitoutua hygro-skooppiseen aineeseen tai vapautua siitä ja siirtyä helposti takaisin ympäristöön (Kokko 2002, 9.).
Höyrynsulku	tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen vesihöyryn diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa (Illikainen 2013).
Ilmansulku	tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi puolelta toiselle (Illikainen 2013).
Ilmavuotoluku n_{50} (1/h)	kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa (pascal) ali- tai ylipaine. Ilmavuotoluku kuvaa rakennusvaipan ilmanpitävyyttä. (RT 80-10974. 2009, 2.)
Ilmavuotoluku q_{50} ($\text{m}^3/\text{h m}^2$)	tarkoittaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa (pascal) paine-erolla kokonaissämittojen mukaan

	laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja. (D3. 2012, 2.)
Konvektio	on lämmön siirtymistä lämpötilaerojen aiheuttamien virtausten mukana (Illikainen 2013).
Kosteus	tarkoittaa kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa (Illikainen 2013).
Rakennuksen vaipalla	tarkoitetaan niitä rakennusosia, jotka erottavat lämpimän, puolilämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta. Vaippaan eivät kuulu rakennuksen sisäiset, erilaisia tiloja toisistaan erottavat rakennusosat. (D3. 2012, 3.)
Suhteellisella kosteudella	tarkoitetaan ilmassa olevan todellisen vesihöyrypitoisuuden suhdetta ilman kyllästysvesihöyrypitoisuuteen (Illikainen 2013).

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön pohjana ovat tiukentuneet rakentamismääräykset, jotka astuivat voimaan 1.7.2012. Rakentamismääräyksissä kiinnitetään yhtenä tärkeänä seikkana huomiota rakennusvaipan ilmanpitävyyteen, mikä vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen, taloudellisuuteen sekä asukkaiden asumisviihtyvyyteen.

Rakennuksen energiatehokkuuden parantumisen ja eristemäärän lisääntymisen johdosta vaipan ilmatiiveys tulee entistä tärkeämpään osaan. Ilmatiivis vaippa varmistaa energian pysymisen rakennusvaipan sisäpuolella sekä estää kosteusvaurioiden syntymistä. Rakentamisessa tulee jatkossa kiinnittää entistä enemmän huomiota ilmatiiviiden liitoskohtien huolelliseen suunnitteluun, työmaalla tapahtuvan työn ohjaamiseen ja toteuttamiseen sekä rakentamisen valvontaan.

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä ilmatiiveyden tärkeyteen suunniteltaessa ja rakennettaessa uudisrakennuksia. Työssä käsitellään rakennuksen ilmatiiveyteen oleellisesti vaikuttavien rakenteiden ja liitosten toteuttamisratkaisuja. Työn tilaajana toimii Kuusamon kaupunki.

Työssä selvitetään ilmatiiveyttä rakenteilla olevissa kahdessa 3-kerroksisessa asuinkerrostalossa, jotka tulevat Kiinteistö Oy Kuusamon Vuokratalojen käyttöön. Ilmatiiveysmittauksen, joka tehdään rakennusvaiheen aikana, tuloksien perusteella voidaan mahdollisesti ilmeneviä vuotokohtia paikata helposti ja edullisesti.

2 ENERGIAEHOKKUUS

Uudet rakentamismääräykset tulivat voimaan 1.7.2012. Määräykset ja ohjeet koskevat uusia rakennuksia, joissa käytetään energiaa tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen sekä mahdollisesti jäähdytykseen tarkoituksenmukaisten sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi. (D3. 2012, 2.)

Ilmastomuutoksen hillitseminen edellyttää energiankulutuksen vähentämistä ja energiatehokkuuden parantamista. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen tuo mukanaan muutospaineita suunnittelijoille ja rakentajille. Energiatehokkuuden parantuessa ilmatiiviyden merkitys korostuu ja sisätilojen riittävästä ilmanvaihdosta on huolehdittava. Rakenteiden dimensiot muuttuvat eristepaksuutta kasvatettaessa ja toisaalta rakenteen kosteustekninen toiminta muuttuu vaipan läpi tapahtuvien lämpöhäviöiden vähentyessä. (Lahdensivu– Suonketo – Vinha – Lindberg – Manelius – Kuhno – Saastamoinen – Salminen – Lähdesmäki 2012, 1.)

2.1 Kokonaisenergiatarkastelu

Kokonaisenergiakulutus rakennuksissa koostuu lämmitysenergiasta, veden lämmittämisen energiasta ja sähkönkulutuksesta, johon kuuluvat valaistus ja kotitaloussähkö. Kokonaisenergiakulutus esitetään E-luvulla, joka lasketaan rakennukseen ostettavien energiamuotojen kertoimien tulona ja ilmaistaan kWh/m² vuodessa -yksiköllä. Kaikki arkkitehti-, rakenne-, lvi- ja sähkösuunnittelun ratkaisut vaikuttavat kokonaisenergian kulutuksen määrään. E-lukuun lasketaan ostoenergian (sähkö, kaukolämpö tai polttoaine) kulutus vuodessa lämmitettyä nettoalaa kohden. Lämmitetty nettoala määritellään siten, että lämmitettyä bruttoalasta vähennetään ulkoseinien rakennusosa-ala. (RT 21522. 2011.)

Ostoenergiat kerrotaan energiamuotojen kertoimilla ja tulot lasketaan yhteen E-luvuksi. Kerroin on sähkölle 1,7, kaukolämmölle 0,7, fossiilisille polttoaineille 1,0 ja rakennuksessa käytettäville uusiutuville polttoaineille 0,5. Taulukossa 1 on esitetty rakennusluvalle edellyttämät E-luvut, joita ei saa ylittää. (D3. 2012, 9.)

TAULUKKO 1. Rakennusluvan edellytyksenä ovat vuotuiset E-luvut, joita ei saa ylittää (D3. 2012, 9)

Pientalo	Pinta-alan mukaan 150kWh/m ² ...200kWh/m ²
Rivitalo	150 kWh/m ²
Asuinkerrostalo	130 kWh/m ²
Toimistorakennus	170 kWh/m ²
Liikerakennus	240 kWh/m ²
Majoitusliikerakennus	240 kWh/m ²
Opetusrakennus ja päiväkot	170 kWh/m ²
Liikuntahalli (paitsi uima- ja jäähalli)	170 kWh/m ²
Sairaala	450 kWh/m ²
Muut rakennukset ja määrä- aikaiset rakennukset	E-luku on laskettava, mutta sille ei ole asetettu vaatimusta.

2.2 Rakennusfysikaaliset seikat

Rakennuksen rakennusfysikaalinen toiminta heikkenee, mikäli rakennuksen vaipan läpi tapahtuu ilmavirtauksia. Ilmavirtauksien seurauksena kosteuden virtaus vaipparakenteisiin sekä erilaisten epäpuhtauksien, homeiden ja radonin virtaus sisäilmaan lisääntyy. Rakennusfysikaalisen toiminnan heikentyessä energiankulutus kasvaa ja vaipparakenteiden pintalämpötilat alenevat. Ilmavirtaukset aiheuttavat asukkaissa vedon tunteen lisääntymistä. Näiden lisäksi ilmanvaihdon säätäminen vaikeutuu ja rakennuksen sisällä painesuhteet ovat erilaiset kuin on suunniteltu. (Perälä 2011.)

Vaipparakenteiden kosteustekniseen toimintaan eri vuodenaikoina vaikuttavat sisä- ja ulkoilman lämpötilan sekä suhteellisen kosteuden muutokset. Kosteusero sisä- ja ulkoilman välillä pyrkii tasoittumaan vaipparakenteiden läpi diffuusiolla. Mikäli kosteutta kulkeutuu sisäilmasta liikaa rakenteisiin, se voi tiivistyä ja jäättyä vesikatteen, ulkoverhouksen tai tuulensuojan sisäpintaan. Kosteus voi myös aiheuttaa rakenteessa homeen kasvustolle suotuisat olosuhteet. (Perälä 2011.)

Talvi ja syksy ovat kriittisimpiä ajanjaksoja homeen kasvustolle, sillä silloin ulkoilman lämpötila on alhaisempi ja siihen mahtuvan vesihöyryn määrä on pie-

nempi kuin sisäilmassa. Edellä mainitun seikan vuoksi kerroksellisten vaipparakenteiden sisäpinnassa tulee olla tiivis ilmansulku ja riittävän vesihöyrynvastuksen omaava höyrynsulku. (Perälä 2011.)

Ilmansulun tehtävänä on estää sisäilmasta konvektiolla rakenteeseen siirtyvä kosteus ja höyrynsulun tehtävänä on estää/rajoittaa sisäilmasta diffuusiolla rakenteeseen siirtyvää kosteutta. Ilman- ja höyrynsulkuna käytetään samoja ainekerroksia, joita ovat muovikalvo tai solumuovieristelevy. (Perälä 2011.)

Rakennuksen vaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistamista voidaan pitää ehkä tärkeimpänä yksittäisenä tekijänä. Siirryttäessä entistä paremmin eristäviin vaipparakenteisiin tulee hallitsemattoman vuotoilman kulkeutuminen rakenteen sisään estää, jotta vältytään rakenteiden kosteus- ja homevaurioriskeiltä. Nykyisten asumistottumusten seurauksena sisäilman kosteuslisä voi olla talviaikana jopa $4\text{--}7\text{ g/m}^3$ sisäilmassa, jolloin kosteuskonvektion riski kasvaa. (Paloniitty 2012, 7.)

Liiallinen kosteus voi aiheuttaa rakenteissa mikrobikasvua ja lisätä punkkien esiintymistä. Yli 45 %:n suhteellinen kosteus edesauttaa pölypunkkien kasvua, 70–80 %:n kosteudessa muuttuvat kosteusolot edullisiksi homesienten kasvulle ja pidempiaikainen yli 90 %:n kosteus voi aiheuttaa lahovaurioiden syntyä. (Fysikaaliset tekijät. 2013.)

Kylmä ilma pystyy sitomaan vähemmän kosteutta kuin lämmin ilma, eli kylmän ilman vesipitoisuus on pieni. Tämä tarkoittaa, että vaikka ilman suhteellisen kosteuden arvo eri lämpötiloissa olisi sama, ei ilmassa oleva vesipitoisuus ole yhtä suuri. Seuraava esimerkki (Fysikaaliset tekijät. 2013) kuvaa lämpötilan ja kosteuden suhdetta.

Ulkoilma kesällä

- $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$, suhteellinen kosteus $\text{RH} = 85\text{ }\%$, ilman vesipitoisuus $18,48\text{ g/m}^3$

Ulkoilma talvella

- $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, suhteellinen kosteus $\text{RH} = 85\%$, ilman vesipitoisuus $0,74\text{ g/m}^3$

Sisäilma muodostuu ulkoilmasta, joten ilman vesipitoisuus on talvella pieni myös sisätiloissa. Koska lämmin ilma pystyy sitomaan enemmän kosteutta, on sisäilman suhteellisen kosteuden arvo matala.

Sisäilma talvella

- $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$, suhteellinen kosteus $\text{RH} = 3,81\%$, ilman vesipitoisuus $0,74\text{ g/m}^3$

Sisäisten kosteuslähteiden vuoksi sisäilman kosteuslisäksi voidaan olettaa $3,5\text{ g/m}^3$. Tällöin sisäilman arvoiksi saadaan

- $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$, suhteellinen kosteus $\text{RH}=21,86\%$, ilman vesipitoisuus $4,24\text{ g/m}^3$

3 ILMATIIVEYS

Ilmatiiviydellä tarkoitetaan asiayhteydestä riippuen rakenteen vesi-, ilma- ja vesihöyrytiiviyyttä. Usein rakenteen tiiveys-käsite sekoitetaan rakenteen ilmatiivyyteen eli sen hengittävyys tai epähengittävyys. Rakenteen tiiviydellä ei kuitenkaan tarkoiteta rakenteen ilmatiiviyttä, vaan vesihöyryn diffuusiota eli vesihöyryn kulkeutumista molekyylitasolla rakenteen läpi. Ilmatiiviys taas mittaa rakenteen kykyä vastustaa ilman liikettä rakenteen läpi. (Paloniitty 2012, 12.)

Ilmatiiviillä rakennuksen vaipalla voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuusluokkaa energiatodistuksessa. Ilmatiiviyttä on syytä käyttää ensisijaisesti rakennuksen energiatehokkuutta parantavana tekijänä heikentämättä rakennusvaipan lämmöneristystä ja lämmöntalteenoton hyötysuhdetta. (RT 80-10974. 2009, 3.)

Hyvä ilmatiiviys vähentää kosteuden virtausta vaipparakenteisiin, ja niiden sisäpinnat eivät jäähdy ulkoa tulevien ilmavirtausten seurauksena. Lisäksi ilmatiivis vaippa parantaa sisäilman laatua ja estää tulipalon leviämistä. Asumisviihtyvyyteen liittyen asukkaiden kokema vedon tunne vähenee. Rakennuksen energiankulutus vähenee ilmanvaihdon tapahtuessa lämmöntalteenoton kautta. Ilmanvaihdon säätäminen ja tavoiteltujen painesuhteiden säätäminen helpottuu hyvän ilmatiivyyden myötä, mutta säätöjen tekeminen on aikaisempaa tärkeämpää, sillä huolimattomasti säädetty ilmanvaihto voi aiheuttaa rakennukseen suuria paine-eroja ulkovaipan yli. (RT 80-10974. 2009, 4.)

Ilmatiiviissä rakennuksessa lämpö ei kulje rakenteiden kautta ilmavirtausten mukana ulos eikä kylmää ilmaa tule sisälle. Vaipan hyvä ilmatiiviys on saavutettavissa huolellisella rakenteiden ja liitosten valinnalla sekä suunnittelulla että huolellisella liitosten ja läpivientien toteutuksella. Erilaisia rakenteiden ja liitosten tiivistyksiä tarvitaan jonkin verran nykyistä enemmän, joten asioiden opetteluun menee kaikilla rakentamisen osapuolilla jonkin verran aikaa. (Lahdensivu ym. 2012, 15.)

3.1 Ilmatiiveyden merkitys

Rakennusvaipan ja tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Eri-tyistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku. (D3. 2012, 5.)

Rakenteen läpi puolelta toiselle tapahtuvan hallitsemattoman ilmapuodon estämiseksi rakenteessa tarvitaan vähintään yksi ilmansulkuna toimiva kerros, joka sijaitsee usein lämmöneristyksen lämpimällä puolella. Ilmansulkuna voi toimia esimerkiksi kalvo, levy tai kivirakenne sekä ilmaa pitävä lämmöneriste tiiviisti saumattuna. Ilmansulku toimii usein myös rakenteen höyrynsulkuna sisäilman kosteusrasitusta vastaan. (C4. 2012, 44.)

3.2 Tuulensuoja

Tuulensuoja on rakennusosassa oleva ainekerros, jonka pääasiallisena tehtävänä on estää haitallisen ilmavirtauksen tulo ulkopuolelta lämmöneristekerrokseen sekä sisäpuoliseen rakenteen osaan ja takaisin. Tuulensuojan ja lämmöneristyksen väliin ei pidä jättää ilmarakoa eikä tuulensuojassa saa olla avoimia lämmöneristykseen johtavia rakoja tai reikiä. Erityisesti on huolehdittava tiiviydestä tuulensuojan saumoissa, seinien alareunassa sekä nurkissa limittämällä ja asettamalla ne puristukseen jäykkien pintojen väliin. Ikkuna- ja oviaukojen ynnä muiden sellaisten läpivientien pielissä tiiviydestä huolehditaan saumanauhoilla, vaahdolla tai tiivistysmassalla. (Illikainen 2013.)

3.3 Ilmanvaihto

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. Tämä tulee varmistaa,

kun määritellään rakennuksen ulkovaipan, alapohjan ja roilojen ilmanpitävyyttä sekä tilojen välisten rakenteiden ilmanpitävyyttä. Lisäksi rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti. (D2. 2012, 5.)

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja. Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea eikä kosteus saa tiivistyä rakenteisiin eikä niiden pinnoille tai ilmanvaihtojärjestelmään siten, että se aiheuttaa kosteusvaurioita, mikrobien tai pieneliöiden kasvua tai muuta terveydellistä haittaa. Lisäksi sisäilman kosteuden tulee pysyä rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa. (D2. 2012, 7–8.)

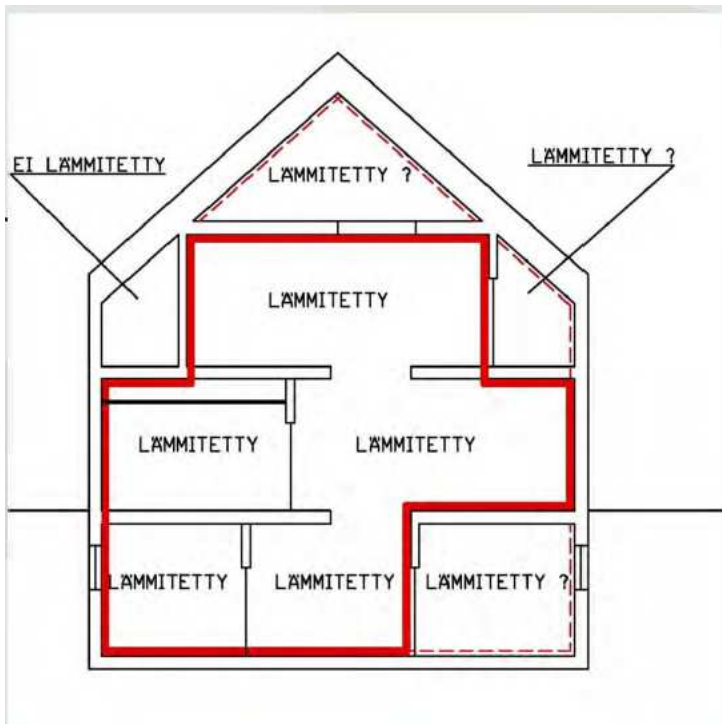
Ilmanvaihdolla on keskeinen merkitys vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja sisäilman laadun parantamisessa. Sen avulla poistetaan niin ylimääräinen kosteus huoneesta kuin erilaiset sisäilman epäpuhtaudetkin (hiili-dioksidi, tupakansavu, radon, hajut ja pölyt). (Perälä 2011.)

Rakennusvaipan hyvä ilmanpitävyys on perusedellytys ilmanvaihdon luotettavalle ja energiatehokkaalle toiminnalle. Ilmanvaihto tulisi suunnitella siten, että rakennuksen sisälle syntyy lievä alipaine. Mikäli rakennuksessa on ylipaine, sisäilmassa oleva ylimääräinen kosteus pyrkii rakenteisiin ilmavirtauksen mukana myös reikien ja rakojen kautta lisäten rakenteen kosteusvaurioriskiä. (Perälä 2011.)

Hyvin lämmöneristetyssä rakennuksessa ulkovaipan tulee ehdottomasti olla ilmatiivis, jolloin vuotoilmanvaihtoa ei tapahdu käytännössä juuri ollenkaan. Tästä seuraa, että rakennusten ilmanvaihtolaitteistoja on käytettävä kaikissa olosuhteissa riittävällä teholla ja varmistettava laitteiden toimivuus nykyistä huolellisemmin. Lisäksi on tärkeää säätää ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmanvaihdon suhteet oikein, jotta rakennukseen ei synny talvella suuria yli- ja alipaineita. (Lahdensivu ym. 2012, 13.)

3.4 Ilmanvuotoluku

Rakennuksen ilmatiiveys määritellään mittaamalla ilmanvuotoluku q_{50} . Ilmanvuotoluvulla q_{50} kuvataan rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa:n paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$]. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja. (D3. 2012, 2.) Kuvassa 1 on esitetty periaate pinta-alojen määrittämisestä mittauskohdetta ympäröivien alapohjien, seinien ja kattojen sisämittojen mukaan laskettuna.



KUVA 1. Rakennusvaipan pinta-ala sisämittojen mukaan (Rakennusten ilmanpitävyys ja mittaukset. 2011)

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään 4 ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$). Mikäli rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä, ilmanvuotoluku voi ylittää arvon 4 ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$). Pienempi ilmanpitävyys voidaan osoittaa mittaamalla tai muulla menettelyllä. Ilmanpitävyyden

osoittaminen muulla menettelyllä voi olla esimerkiksi teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyä, jolla ilmanpitävyys voidaan luotettavasti arvioida ennakolta. (D3. 2012, 10.)

Energiatehokkaassa rakentamisessa tulisi pyrkiä siihen, että ilmanvuotoluku q_{50} olisi alle $1(\text{m}^3/(\text{h m}^2))$. Passiivitalojen luokituksessa on määritetty, että ilmanvuotoluku n_{50} tulisi olla pienempi kuin 0,6 1/h (q_{50} -luvulle ei ole annettu määrittelyä). Asuinkerrostalossa ilmanvuotoluvun n_{50} laskeminen arvosta 4,0 1/h arvoon 1,0 1/h vähentää energiankulutusta jopa 10 %. (Lahdensivu ym. 2012, 15.)

Yksikön lisäys ilmapuotoluvussa n_{50} lisää tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutusta 4–12 %, keskimäärin 7 %. Energian kokonaiskulutus kasvaa 2–7 %, keskimäärin 4 %. Kivirakenteisten pientalojen ilmapuotoluku vuonna 2000 oli keskimäärin 2,3 1/h ja puurunkoisten pientalojen ilmapuotoluku keskimäärin 3,9 1/h. Kivirakenteisissa pientaloissa on keskimäärin noin 7 % pienempi kokonaisenergiankulutus kuin samankokoisessa puurunkoisessa pientalossa vaipan ilmanpitävyydestä johtuen. (Vinha 2012, 10.)

Uusissa rakentamismääräyksissä D3/2012 on siirrytty käyttämään ilmanvuotolukua q_{50} luvun n_{50} sijaan. Uusi q_{50} kohtelee erikokoisia rakennuksia tasapuolisemmin ja realistisemmin, koska laskentaperusteena on vaipan pinta-ala. Ilmanvuotoluku n_{50} [1/h] oli rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku 50 Pa:n paineerolla. Koska n_{50} perustui tilavuuteen, oli sillä positiivinen vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen suurissa rakennuksissa. (RT 21555. 2012, 3.)

Taulukossa 2 on esitetty Oulun kaupungin rakennusvalvonnan tiiveyskortti vuodelta 2012. Taulukosta selviää, miten ilmanvuotoluvun muutos vaikuttaa tilojen lämmitysenergiatarpeeseen.

TAULUKKO 2. Ilmanvuotoluvun vaikutus tilojen lämmitysenergiatarpeeseen
(Tiiveyskortti. 2012)

ILMANVUOTOLUVUN VAIKUTUS TILOJEN LÄMMITYSENERGIATARPEESEEN		
Tiiveys	Sanallinen arviointi	Energiasäästö
< 0,6	passiivitalon vaatimus	> 10 %
< 1,0	erittäin hyvä	7...10 %
1 - 2	hyvä	0...7 %
2	rak määr. vertailutaso	0 %
2 - 3	tydyttävä	-0...7%
3 - 4	huono	-7...14%
> 4	erittäin huono	> -14%
Parempi ilmanpitävyys ei aiheuta merkittävää kustannuslisää, vaatii asennetta ja tarkkaa työtä.		

Seuraavissa taulukoissa on ryhmitelty eri kriteerein pientalojen rakennusten ulkovaipan ilmanvuotolukuja. Yritykset ovat teettäneet mittaukset ja vastaavat tulosten oikeellisuudesta. Taulukossa 3 on esitetty talotoimittajat, jotka mittauttavat kaikki vuonna 2012 myydyt talot. Mittausraportti tarkistetaan käyttöönotto-katselmuksessa ja mitattua ilmanvuotolukua käytetään kohteen energiaselvityksen päivityksessä.

TAULUKKO 3. Kaikki vuonna 2012 myydyt talot mittauttavat talotoimittajat (Tiiveystilasto. 2012)

Yritys	talon rakennetyyppi	mittauksia 2012 (arvio)	vuoto n50ilm (hajonta)
A.Vänttilä/ muuttovalmis	OKT 1-kerros/puu	15	0,5 (0,2...0,7)
Jopera/ muuttovalmis	OKT 1-kerros/puu	25	0,8 (0,3...1,0)
Puroila/ muuttovalmis	OKT 1-kerros/puu	25	0,9 (0,3...1,3)
JT-TALOT/ muuttovalmis	OKT 1-kerros/puu	30	1,0 (0,4...1,4)
Dekotalo/ koko tuotanto	OKT 1-kerros/puu	120	1,0 (0,5...1,3)
Kastelli Oy /muuttovalmis	OKT 1-kerros/puu	500	1,3 (0,3...1,8)
Muurame-talot/ koko tuotanto	OKT 1-kerros/puu	120	1,4 (0,8...1,8)
Design Talo/ koko tuotanto	OKT 1-kerros/puu	600	1,5 (0,5...2,0)
Kontiotuote/ koko tuotanto	OKT 1-kerros/hirsi	50	1,8 (0,4...2,0)

Taulukosta 3 on nähtävissä, että ilmanvuotoluvun suurempi arvo on yhteydessä tehtyihin mittauksiin. Mitä enemmän mittauksia, sitä suurempi ilmanvuotoluvun arvo on. Kaikki mitattavat kohteet ovat 1-kerroksisia puurakenteisia omakotitaloja. Ainoastaan yksi talotoimittaja pääsee passiivitalolle asetetun arvon (0,6 1/h) alle. Yleensä parempi ilmatiiveys korreloi paremman teknisen loppulaadun kanssa. Hirsirakenteinen talo antaa kaikkein suurimman ilmanvuotoluvun arvon.

Taulukossa 4 on esitetty talotoimittajat, jotka mittauttavat vähintään 12 taloa ja määrittävät ilmanpitävyyden tilastollisesti Rt 80-10974-ohjeen mukaisesti. Energiaselvityksessä käytettävä ilmanvuotoluku määritetään tiiveyskortissa.

TAULUKKO 4. Tilastollisesti ilmanpitävyyden määrittävät talotoimittajat (Tiiveys-tilasto. 2012)

<i>Yritys</i>	<i>talon rakennetyyppi</i>	<i>mittauksia 2012 (arvio)</i>	<i>vuoto n50ilm (hajonta)</i>
Finndomo Oy/Omatalo,Puutalo	OKT 1-kerros/puu	200	0,9 (0,4... 0,8)
Laplitalot Oy	OKT 1-kerros/puu	30	1,3 (0,3... 1,3)
Lammi-kivitalot Oy	OKT 1-kerros/betoni	15	1,3 (0,5... 1,6)
Jukka-talo Oy	OKT 1-kerros/puu	100	1,6 (0,6... 1,7)
Finnlamelli Oy	OKT 1-kerros/hirsi	15	1,7 (0,5... 1,8)

Taulukosta 4 on nähtävissä, että mittausten määrällä ei ole suoranaista yhteyttä ilmanvuotoluvun arvoon. Mitattavat kohteet ovat 1-kerroksisia puu-, betoni- ja hirsirakenteisia omakotitaloja. Yksikään talotoimittaja ei pääse passiivitalolle asetetun arvon (0,6 1/h) alle. Yleensä parempi ilmatiiveys korreloi paremman teknisen loppulaadun kanssa. Hirsirakenteinen talo antaa kaikkein suurimman ilmanvuotoluvun arvon.

Taulukossa 5 on esitetty ryhmärakennus- ja rivitalotoimittajat, jotka määrittävät ilmanpitävyyden tilastollisesti. Rakennusvalvonta määrittää mitattavat asunnot ennen mittausta. Asunnoista mitataan 20 %, kuitenkin vähintään 6 asuntoa.

TAULUKKO 5. Tilastollisesti ilmanpitävyyden määrittävät ryhmärakennus- ja rivitalotoimittajat (Tiiveystilasto. 2012)

<i>Yritys</i>	<i>talon rakennetyyppi</i>	<i>mittauksia 2012 (arvio)</i>	<i>vuoto n50ilm(hajonta)</i>
OKV-Tekniikka Oy	RT-1-kerros/bet-puu	24	0,4 (0,1...0,5)
Nastarakennus Oy	RT 1-kerros/bet-puu	12	1,0 (0,5... 1,1)
Oulun Rakennusteho Oy	RT 1-kerros/bet-puu	28	1,0 (0,6... 1,4)
Sonelli Oy	OKT/Paritalo/puu	10	1,1 (0,5... 1,1)
Oulun Rakennusteho Oy	OKT/Paritalo/puu	19	1,4 (0,6... 1,5)

Taulukosta 5 on nähtävissä betoni/puurakenteisten rivitalojen ilmanvuotolukujen arvojen olevan kaikkein pienimpiä. Muut kohteet ovat puurakenteisia omakoti- ja paritaloja. Ainoastaan yksi rivitalotoimittaja pääsee passiivitalolle asetetun arvon (0,6 1/h) alle. Yleensä parempi ilmatiiveys korreloi paremman teknisen loppulaadun kanssa.

4 ILMATIIVEYSMITTAUS

Ilmatiivyyttä mitattaessa ei suoranaisesti tutkita vaipan tiiveyttä, vaan rakennuksen vaipan läpäisevää ilmavirtausta. Vaipalla tässä kohdin tarkoitetaan karkeasti niitä rakennusosia, jotka erottavat lämpimät osat kylmistä osista ja ulkoilmasta. Ilma voi virrata vaipan rakenteiden läpi tai vaipan rakojen ja reikien kautta. Tällaisia kohtia voivat olla ikkunoiden ja ovien liitoskohdat sekä erilaisten hormien liitokset vaippaan. (Paloniitty 2012, 12.)

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku mitataan standardissa SFS-EN 13829 esitetyllä mittausmenetelmällä siten, että rakennukseen tarkoituksellisesti ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot, tulisijat ja hormit suljetaan tiiviisti teippaamalla tai muulla luotettavalla tavalla. Ilmavuotoluvun mittaus tapahtuu tarkoitusta varten tehdyllä painekoelaitteistolla (kuva 2). (RT 80-10974. 2009, 10.)



KUVA 2. Painekoelaitteisto asennettuna mittauskohteessa parvekeoven karmiin

Painekokeessa määritetään ilman tilavuusvirta, joka täytyy puhaltaa rakennukseen (ylipainekoe) tai sieltä pois (alipainekoe). Tällöin saadaan rakennuksen ulkovaipan yli haluttu paine-ero. Ilman tilavuusvirrat määritetään portaittain eri paine-eroilla vähintään 50 Pa:n paine-eroon asti.

Ilmavuotoluku, n_{50} -luku [1/h], voidaan laskea kaavalla 1 (RT 80-10974. 2009, 11).

$$n_{50} = \frac{\dot{V}}{V}$$

KAAVA 1

\dot{V} = ilman tilavuusvirta, joka tarvitaan 50 Pa:n paine-eron aiheuttamiseksi rakennuksen vaipan yli [m^3/h]

V = rakennuksen sisätilavuus [m^3]

Rakennuksen ilmavuotoluku määritetään vaipan pinta-alaa kohti q_{50} -lukuna [$\text{m}^3/\text{h m}^2$]. q_{50} -luku voidaan laskea n_{50} -luvusta kaavalla 2. (RT 80-10974. 2009, 11.)

$$q_{50} = n_{50} \cdot \frac{V}{A_E}$$

KAAVA 2

V = ilman tilavuusvirta, joka tarvitaan 50 Pa:n paine-eron aiheuttamiseksi rakennuksen vaipan yli [m^3/h]

A_E = rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan laskettuna [m^2]

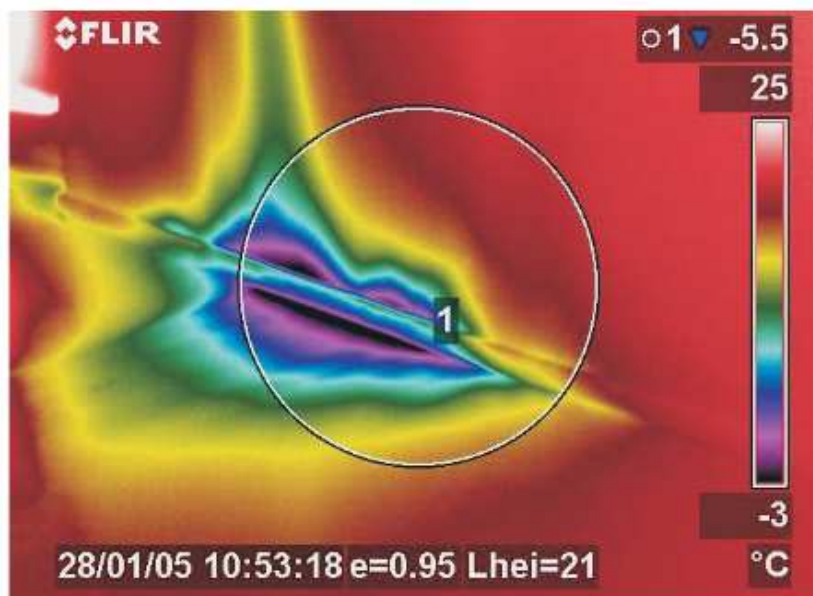
4.1 Ilmanvuotokohtien paikantaminen

Vuotokohtien paikantaminen rakennuksissa on olennainen osa ilmanpitävyysmittausta. Mikäli vuotokohtia ei paikanneta, on vaarana, että mittaukset joudutaan uusimaan. Mahdollinen ilmavuotojen paikantaminen ja raportointi tulee sopia aina tiiviysmittaustilauksen yhteydessä tilaajan kanssa. Tiiviysmittaajan tulee paikantaa aina suurimmat ja merkittävimmät ilmavuodot, jotta niiden tiivistämisen onnistuminen voidaan todentaa. Ilmavuotopaikat on hyvä raportoida, vaikka rakennuksen tiiviys täyttää vaaditun tason. (Paloniitty 2012, 58.)

Ilmavuotokohdat paikannetaan lämpökuvauksella tai merkkisavuilla, joista lämpökuvaus on tehokkaampi keino. Usein myös iholla tuntuva veto on selvin ja helpoimmin havaittava merkki ilmavuodosta. Edellä mainittuja menetelmiä käytetään usein myös yhdessä, kun kartoitetaan tarkasti rakennuksen tiiveyttä. (Päloniitty 2012, 58.)

4.1.1 Lämpökuvaus

Lämpökuvaus on luotettava ainetta rikkomaton rakennusten laadun- ja kunnonarviointimenetelmä. Se perustuu pinnan lämpötilajakauman määrittämiseen ja kuvaamiseen mittaamalla pinnan infrapunasäteily ja tulkitsemalla lämpötila. Sitä voidaan käyttää uudisrakennusten laadunvalvontamittauksissa sekä vanhojen rakennusten kuntotutkimuksissa. Kuvassa 3 on esitetty rakenteen lämpökuva. (RT 14-10850. 2005, 1–2.)



KUVA 3. Rakenteen lämpökuva (RT 14-10850 2005, 1)

Kuvassa 3 lämpökamera muuttaa kohteen lämpötilatiedoksi, josta lämpökuva muodostetaan digitaalisesti. Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin, ja se mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn ja infrapunasäteilyn

voimakkuutta. Lämpökameran tulee olla mittaava ja tasapainotettu sekä kuvantava mittalaite. (RT 14-10850. 2005, 1–3.)

Lämpökuvauksella saadaan tarkat ja luotettavat tiedot vuotojen sijainnista, laadusta ja laajuudesta. Huonona puolena ovat olosuhteiden vaikutus mittaustarkkuuteen, sillä lämpötilaerojen pienuus voi aiheuttaa ongelmia kuvien tulkintaan. Vuotojen paikannus lämpökuvauksella vaikeutuu, jos sisä- ja ulkopuolen lämpötilaero on alle 5 °C. Mikäli lämpökuvauksella pyritään kartoittamaan eristevikoja, kosteusvaurioita sekä kylmäsiltoja, tulee lämpökuvaus tehdä niin sanottuna kaksivaihekuvausena, jolloin ensimmäinen kuvaus tehdään paine-eron ollessa todellinen. Toinen kuvaus suoritetaan alipaineisena, jolloin havaitaan myös ilmavuodot. (Paloniitty 2012, 58–59.)

4.1.2 Merkkisavut

Tiiveysmittauksen jälkeen on vielä mahdollista paikallistaa ilmavuotokohtia. Tähän tarkoitukseen soveltuu merkkisavujen käyttö, joka tehdään vähintään 10 Pa:n alipaineisessa tilassa/kerros. Merkkisavulla kannattaa tutkia ilmavuotokohtia seuraavista paikoista:

- lattian ja seinän vierustat
- katon ja seinän rajakohdat
- pistorasian kohdat ulkoseinillä
- valaisimen ympäristöt
- ikkunoiden ja ovien liitokset ja tiivistykset

Mikäli rakennuksessa on palohälyttimet toiminnassa, on syytä olla varovainen käytettäessä merkkisavua ilmavuotojen paikallistamiseen. Kuvassa 4 on esitetty ilmavuotojen paikannus merkkisavun avulla. (Paloniitty 2012, 59–60.)



KUVA 4. Ilmavuotojen paikannus merkkisavulla

5 ILMATIIVEYDEN MITTAUS KOY KUUSAMON VUOKRATA- LOISSA

Opinnäytetyössä tutkittiin ilmatiiveyttä Kiinteistö Oy Kuusamon Vuokratalojen kohteessa. Kohteeseen rakennettiin kaksi 3-kerroksista tiiliverhoilua asuinkerrostaloa sekä 1-kerroksinen varistorakennus ja erillinen jäteastiatila. Uudet asuinrakennukset ovat pulpettikattoisia teräsbetoni- ja puurunkoisia rakennuksia, jotka rakennettiin matalaenergiataloiksi. Matalaenergiatalo tarkoittaa rakennusta, jonka tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergian ostoenergian ominaiskulutus ja nettoenergian ominaistarve ovat välillä 26–50 kWh/ (m² a).

Alapohjarakenteena kohteessa on 100 mm paksu teräsbetoni-laatta, jonka alla on 300 mm, eli 3 * EPS 100 LATTIA -eristettä (liite 1/2 ja 1/7). Välipohjarakenteena kerrosten välillä on 250 mm:n vahvuinen ontelolaatasto, joka tukeutuu teräsbetonisiin ulko- ja väliseiniin sekä pilareihin. Ontelolaataston päällä on ääneneristyskerroksena 30 mm mineraalivillaa. Kelluvana pintalaattana on 100 mm:n vahvuinen teräsbetoni-laatta, johon on asennettu vesikiertoinen lattialämmitysputkisto (liite 1/3 ja 1/8).

Ulkoseinärakenteina ovat sisältäpäin lueteltuna: teräsbetonirunko 150 mm, vaakakoolaus + mineraalivilla 50 mm, höyrynsulku, pystyrunko 48*198 + mineraalivilla 200 mm, tuulensuojalevy 50 mm, ilmarako 30 mm ja tiiliverhous 80 mm (liite 1/7, 1/8 ja 1/9). Toisena ulkoseinärakenteena toimii sisältäpäin lueteltuna: kipsilevy 13 mm, vaakakoolaus + mineraalivilla 50 mm, höyrynsulku, pystyrunko 48*198 mm + mineraalivilla 200 mm, tuulensuojalevy 50 mm, ilmarako 30 mm ja tiiliverhous 80 mm (liite 1/2, 1/3, 1/4, 1/5 ja 1/6). Yläpohjarakenteena toimii ontelolaatasto, jonka päällä on höyrynsulku ja lämmöneristeenä mineraalivillaa 500 mm (liite 1/9).

5.1 Mittauksen tavoite

Ilmatiiveysmittauksen tavoitteena oli selvittää Kiinteistö Oy Kuusamon Vuokratalojen uudisrakennusten rakenteissa ja liitoksissa esiintyvät mahdolliset ilma-

vuotokohdat. Mittaus tehtiin rakentamisen ollessa siinä vaiheessa, jolloin voitiin puuttua ilmenneisiin vuotokohtiin ja korjata ne helposti ja edullisesti. Ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona q_{50} käytettiin lukemaa $0,9 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$. Kyseinen lukema velvoittaa ilmanvuotoluvun todentamisen mittaamalla.

Rakennesuunnittelussa on otettu huomioon rakenteiden ilmatiiviys. Ulkoseiniin on höyrynsulun sisäpuolelle suunniteltu 50 mm:n vaakakoolaus, johon voidaan sijoittaa sähköasennukset rikkomatta höyrynsulkua. Samoin on kiinnitetty huomiota höyrynsulun limitysten riittävään pituuteen, vähintään 200 mm, sekä höyrynsulun limitysten puristamiseen kahden puuriman väliin.

Ikkuna- ja oviaasennuksissa ympäröivään rakenteeseen on myös kiinnitetty huomiota. Seinän ja karmin välinen liitos on toteutettu ulkoapäin lueteltuna mineraalivillalla, polyuretaanivaahdolla, solumuovinauhalla ja elastisella saumamassalla.

Alapohjarakenteessa seinän höyrynsulku on käännetty lattialaatan alle vähintään 200 mm. Hitsattava kumibitumikermi on sokkelissa kiinni lattiaeristemäärän korkeuden (300 mm) verran ja loppuosa kermistä on käännetty 200 mm lattialaatan alle limityksenä seinän höyrynsulun kanssa.

Yläpohjassa on seinän höyrynsulku käännetty koolausriman alle ja limitetty yläpohjan höyrynsulun kanssa vähintään 200 mm. Yläpohjan höyrynsulku on kierretty ontelolaatan ympäri ja limitetty seinän höyrynsulun kanssa vähintään 200 mm.

Välipohjassa ontelolaatan yläpuolisen seinän höyrynsulku on käännetty lattialaatan alle vähintään 200 mm. Höyrynsulkukaista on kierretty ontelolaatan ympäri ja limitetty seinän höyrynsulun kanssa vähintään 200 mm. Ontelolaatan alapuolisen seinän höyrynsulku on käännetty koolausriman alle ja limitetty reuna-kaistaan vähintään 200 mm.

5.2 Mittauksen toteutus

Ilmatiiveys mitattiin toisen kerrostalon 3. kerroksessa sijaitsevissa kahdessa huoneistossa. Mittausajankohtana huoneistot ovat rakenteellisesti sellaisessa vaiheessa, että mahdollisesti esiintyvät vuotokohdat pystytään paikallistamaan ja korjaamaan ilmatiiviiksi. Ennen painekokeen suorittamista rakennuksessa suoritettiin esivalmistelut onnistuneen painekokeen ja luotettavan tuloksen saavuttamiseksi.

Porraskäytävältä huoneistoon johtavat oviaukot (kuva 5) tiivistettiin ilmatiiviiksi mittauksen ajaksi puristamalla höyrynsulkumuovi puurimojen avulla aukkoon.



KUVA 5. Porraskäytävään johtavan oviaukon tiivistys

Kuvassa 5 olevan oviaukon tiivistys tapahtui kiinnittämällä puurimat (45x45 mm) mekaanisesti oviaukkoon. Ennen kiinnitystä betonin ja puuriman väliin laitettiin tiivistysmassa. Tämän jälkeen kiinnitettiin höyrynsulkumuovi ruuvien ja puurimojen avulla aiemmin kiinnitettyihin puurimoihin. Lopuksi varmistettiin tiiveys aukon alaosasta tiivistysmassan ja teipin avulla.

Kohteessa tehtiin myös läpivientien tiivistykset sekä varmistettiin, että viemäreiden vesilukoissa oli vettä. Poistoilmakanavien tulppaus (kuva 6) tehtiin huoneen puolelta siihen tarkoitukseen soveltuvalla kumipallolla.



KUVA 6. Poistoilmakanavan oikeaoppinen tulppaus kumipallolla

Ennen ovikehikon asentamista vietiin ulkoilman painetta mittaavan letkun pää ulos riittävän kauas puhaltimen virtauksesta. Ulkoilman paine-eroletkun tulisi olla samalla korkeudella kuin sisäilman paine-eromittauksen. Sisäilman painetta mittaava letkun pää (kuva 7) laitettiin huoneistossa saunan lattialle.



KUVA 7. Sisäilman painetta mittaavan letkun pää

Painekoelaitteistoon kuuluvaan ovikehikkoon tehtiin perussäätö asennettavaan ovikarmiin. Tämän jälkeen viritettiin tiivistyskangas ovikehikkoon ja asennettiin se paikoilleen oven karmiin (kuva 8). Lopullinen tiivistys, jotta kehikko pysyisi paikoillaan mittauksen ajan, tehtiin ovikehikossa olevien salpojen avulla.



KUVA 8. Painekoelaitteisto asennettuna mittauskohteessa parvekeoven karmiin

Ilmanvuotoluku mitattiin 50 Pa:n paine-erolla standardin SFS-EN 13829 määritellyllä tavalla. Edellä mainittujen aukkojen ja hormien tiivistämisen jälkeen luotiin haluttu paine-ero rakennusvaipan yli sisä- ja ulkoilman välille ja mitattiin rakenteiden läpi vuotavan ilman määrä.

5.3 Mittauksen tulokset

Suoritetussa kahden huoneiston mittauksessa saatiin ilmanvuotoluvut q_{50} , jotka olivat $0,6 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ ja $0,9 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$. Kyseiset arvot täyttävät luvussa 5.1 mainitun suunnitteluarvon $0,9 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$.

Painekokeen aikana selvitettiin mahdollisia vuotokohtia merkkisavun (kuva 9) avulla huoneiston ollessa ylipaineisena, koska silloin savu pyrkii poistumaan ilmapuotokohdista ilmapirran mukana ulos. Kyseinen selvitystapa mahdollistaa vuotokohtien paikallistamisen ja välittömän tiivistämisen.



KUVA 9. Vuotokohtien paikannus merkkisavun avulla

Merkkisavun avulla saatiin selville ilmavuotokohtia rakenteissa ja rakenteiden liitoksissa. Paikkoja, joissa ilmeni ilmavuotokohtia, olivat lattian ja seinärajan liittymäkohta, ontelolaataston saumakohta yläpohjassa, saunan/pesuhuoneen ikkunatiiviste, pesuhuoneessa sijaitsevan hormin alakulma, ikkunakarmin ja asennusaukon väli ja pistorasia, josta oli suoritettu putkitus suoraan parvekkeelle asennettavaan pistorasiaan, sekä iv-läpivientikohta porraskäytävään.

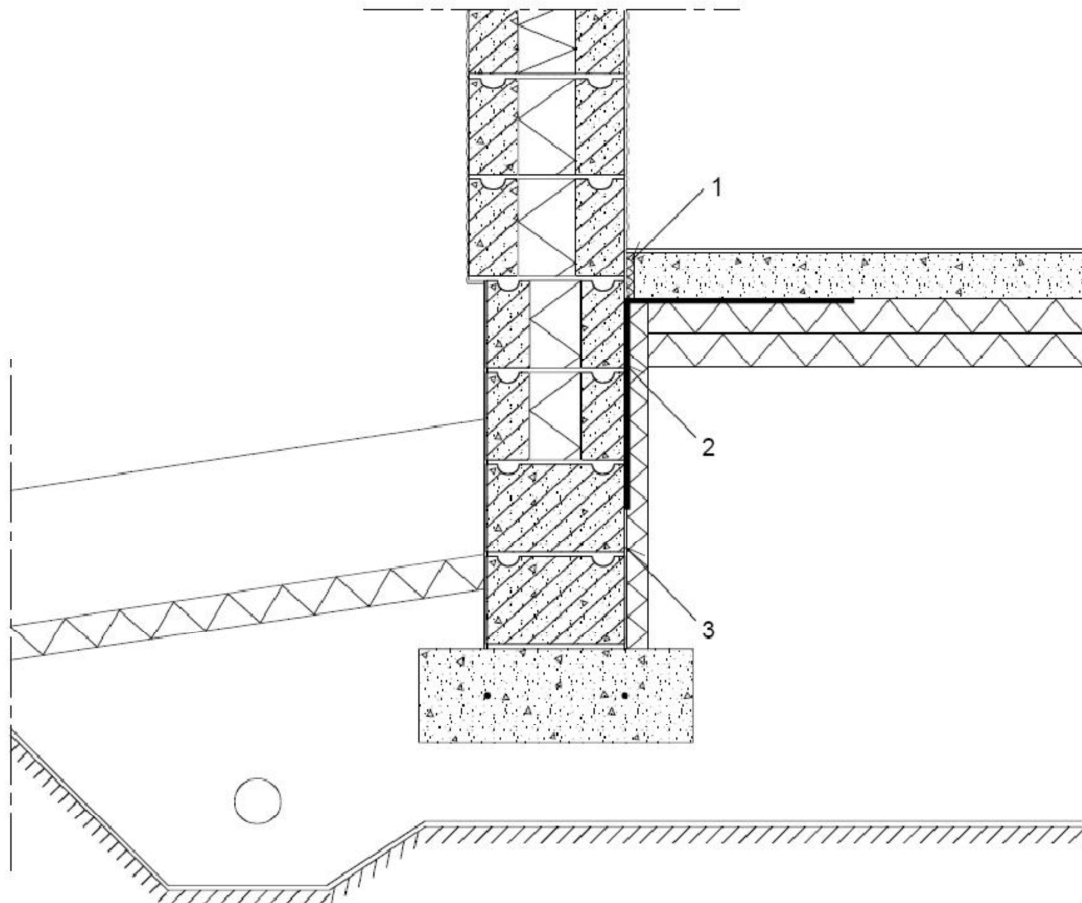
6 ILMATIIVEYDEN TOTEUTTAMISOHJE

Rakennuksen ilmatiiveyden varmistaminen tulee kyseeseen erityisesti rakenteiden ja liitosten toteuttamisen kohdalla. Seuraavassa on esitetty yleisesti rakenneratkaisuja. Yksittäisten rakennusten kohdekohtainen suunnittelu sekä tiivistöiden huolellinen toteutus on olennaista hyvän ilmanpitävyyden saavuttamiseksi. (Aho – Korpi 2009, 1.)

6.1 Maanvastainen alapohja

6.1.1 Maanvastainen alapohja ja betoni/kivirunkoinen ulkoseinä

Toteutettaessa maanvastaisena alapohjana paikallavalettua teräsbetonilaattaa se on itsessään rakenteena riittävän ilmanpitävä. Suurin huomio kiinnittyykin rakenteen liitoksiin sekä läpivientien tiivistämiseen. Kuvassa 10 on esitetty kivirakenteisen ulkoseinän ja maanvastaisen alapohjan liitos. (Aho – Korpi 2009, 24.)

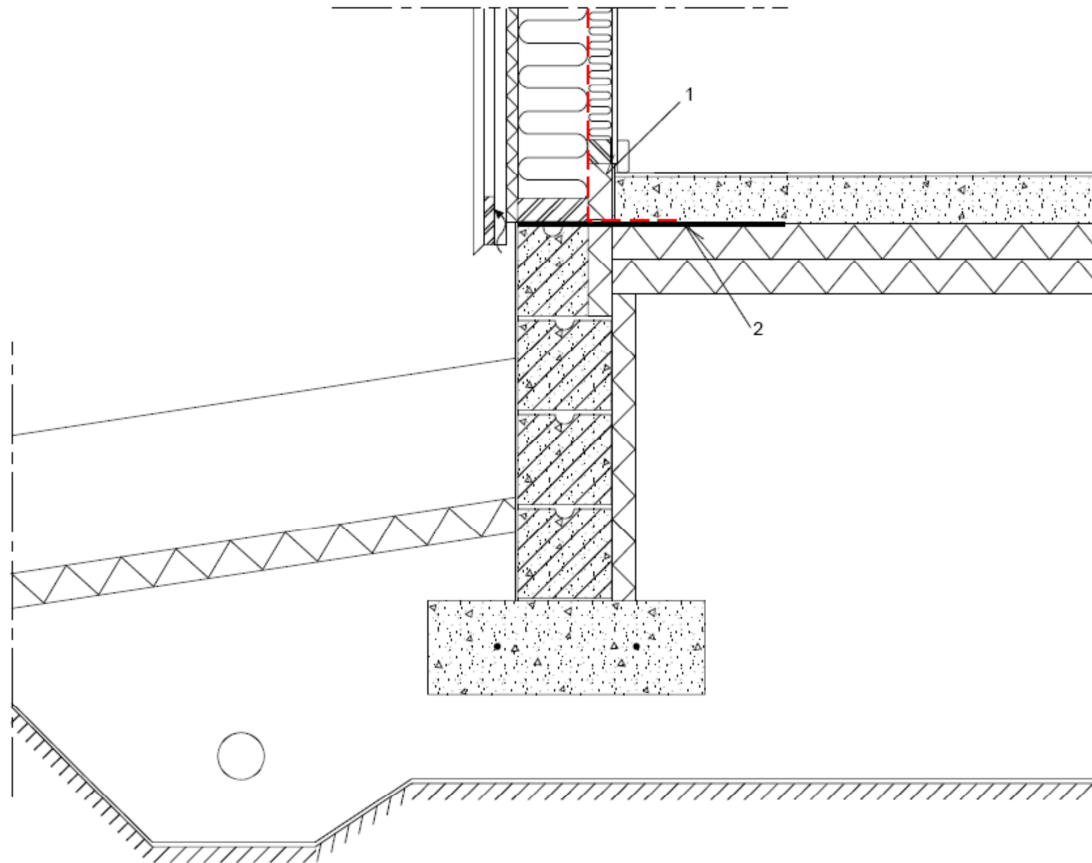


KUVA 10. Kivirakenteisen ulkoseinän ja maanvastaisen alapohjan liitos (Aho–Korpi 2009, 24)

Kuvan 10 toteutustapaa tehdään kohteissa, joissa kivirakenteinen seinä tehdään ennen lattialaatan valua. Kivirakenteisen ulkoseinän ja maanvastaisen alapohjan liitoksessa ilmatiiveys on toteutettu kiinnittämällä kumibitumikermit (2), joko hitsattava tai liimattava, harkkoihin ja kääntämällä se lattiaeristeen päälle laatan alle. Laatan ja seinän väliin asennetaan lämmöneristekais-taksi umpisoluinen solupolyeteeni. Laatan kutistumisen vuoksi sauma täytyy lisäksi tiivistää pysyvästi elastisella kitillä (1). Sokkeliharkot pinnoitetaan molemmista pinnoista anturaan saakka (3), jolla estetään radonin pääsy harkkoja pitkin sisäilmaan sekä helpotetaan kermin kiinnitystä alustaan sen ollessa tasainen. (Aho – Korpi 2009, 25.)

6.1.2 Maanvastainen alapohja ja puurunkoinen ulkoseinä

Kuvassa 11 on esitetty puurakenteisen ulkoseinän ja maanvastaisen alapohjan liitos (Aho – Korpi 2009, 28).



KUVA 11. Puurakenteisen seinän ja maanvastaisen alapohjan liitos (Aho – Korpi 2009, 28)

Kuvan 11 mukaista ratkaisua käytetään kohteissa, joissa seinärakenne tehdään ennen laatan valua ja vasta tämän jälkeen suoritetaan lattiavalu seinää vasten. Puurakenteisen seinän ja maanvastaisen alapohjan liitoksessa ilmatiiveys on toteutettu tuomalla kumibitumikermikaista suorana seinän alajuoksupuun alta betonilaatan alle (2). Seinän ilmansulkukalvo taitetaan kermikaistan päälle. Yläpuolisten rakenteiden paino tiivistää liitoksen, kun taitoksen leveys on riittävä. Laatan alapinta sijaitsee seinän ja sokkeliharkon välisen sauman tasalla. Laatan

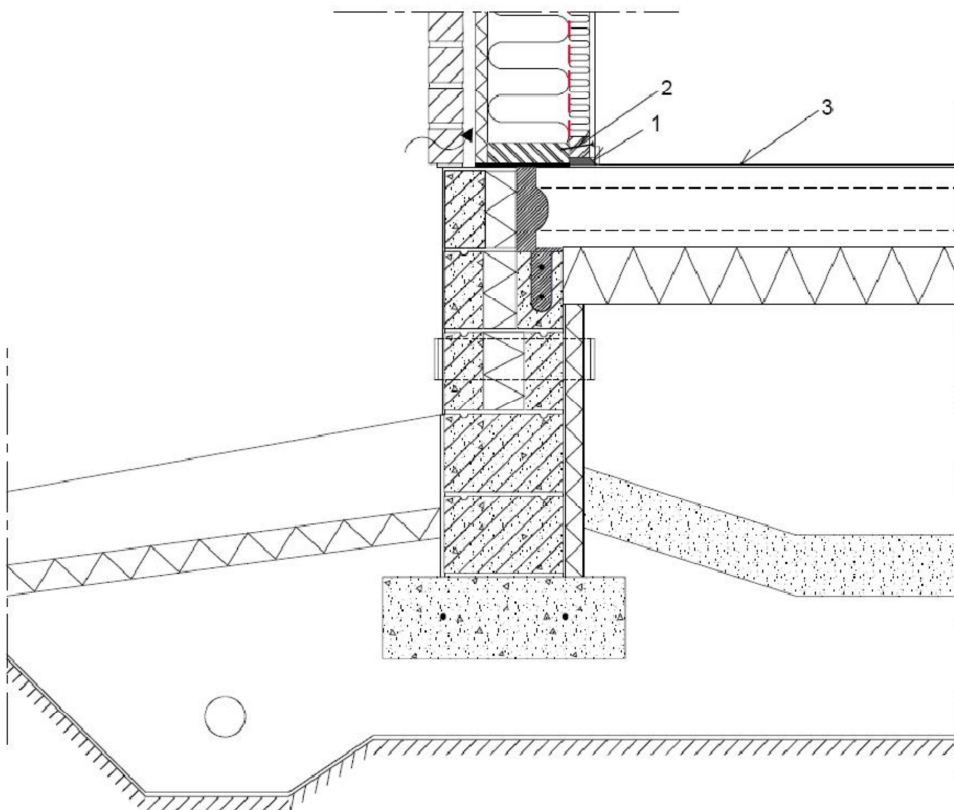
valua varten asennetaan kapea, vähintään laatan paksuinen muovieristelevy-
kaista (1). (Aho – Korpi 2009, 29.)

6.2 Tuulettuva alapohja

6.2.1 Kivirakenteinen alapohja

Kivirakenteinen tuulettuva alapohja tehdään yleensä ontelolaatoista, joiden ala-
puolelle on kiinnitetty valmiiksi lämmöneristyslevy. Lämmöneristekerroksen
saumat tulisi vaahdottaa yhtenäisyyden varmistamiseksi polyuretaanivaahdolla
tiiviksi. Mikäli ontelolaataston päälle tulee yhtenäinen pintabetonilaatta, ei erilli-
siä ilmansulkukaistoja saumoissa tarvita. (Aho – Korpi 2009, 22.)

Kuvassa 12 on esitetty ryömintätilainen alapohja, jonka kantavana rakenteena
on ontelolaatta (Aho – Korpi 2009, 34).



*KUVA 12. Kivirakenteinen tuulettuva (ryömintätilainen) alapohja ja puurakentei-
sen ulkoseinän ja alapohjan liitos (Aho – Korpi 2009, 34)*

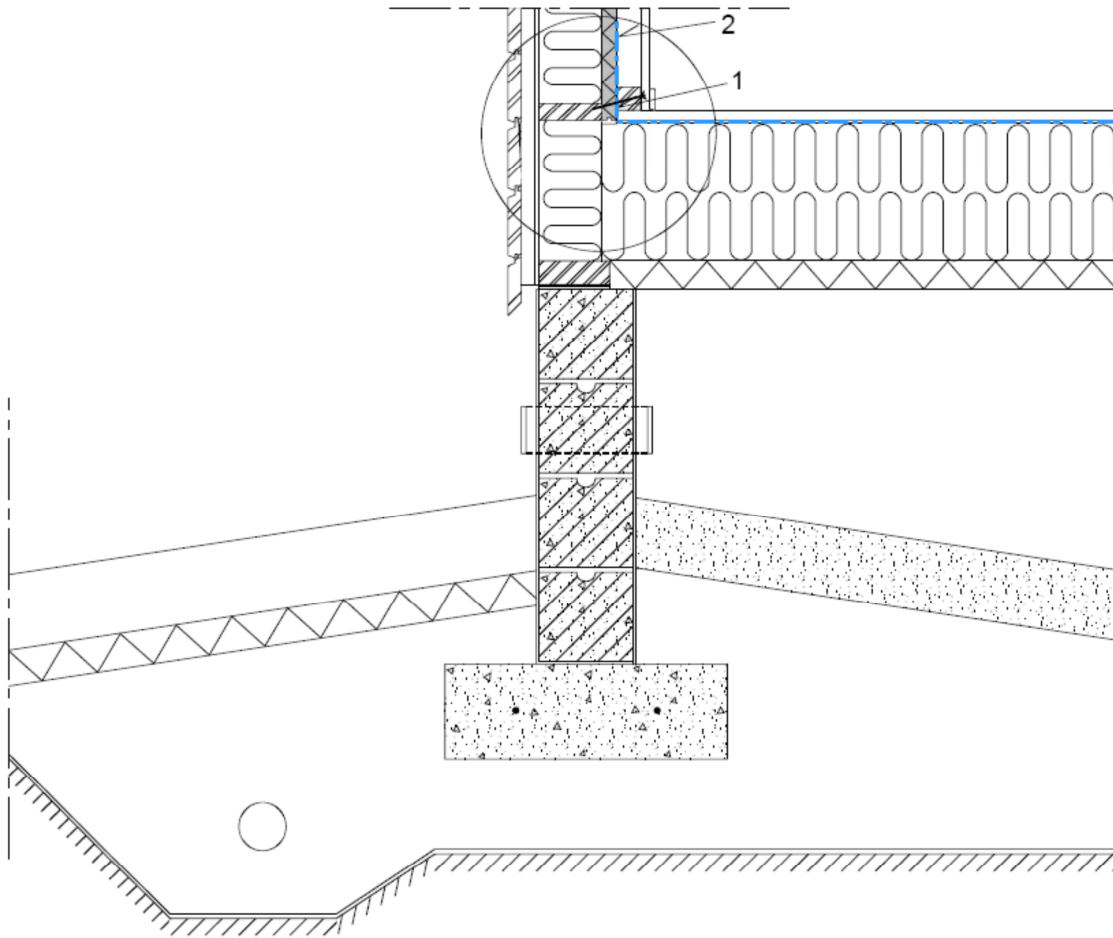
Kuvan 12 mukaista ratkaisua (ryömintätilainen alapohja) käytetään kohteissa, joissa kantavana rakenteena on ontelolaatta. Puurakenteisen seinän ilmansulkukalvo tiivistetään sisäverhouslevyn alareunan kiinnityspuun ja seinän alajuoksun väliin (2). Seinän alaosan ja laatan väli tiivistetään polyuretaanivaahdotuksella (1). Betonirakenteen ja sokkeliharkon väliset vaakasaumat ovat ilmatiiviitä, kun juotosvalut tehdään huolellisesti. Elementtien liitokset tiivistetään pinnan tasoitekerroksella (3). (Aho – Korpi 2009, 35.)

Alajuoksun ja laatan väliin asennetaan bitumikermikaista kapillaarikatkoksi. Ryömintätilaan järjestetään hyvä tuuletus ja sen maanpinta eristetään esimerkiksi kevytsorakerroksella. Sokkeli eristetään tarvittaessa estämään kylmäsilan syntyminen. Sokkeliharkot suositellaan pinnoitettavaksi ilmanpitävyyden varmistamiseksi. (Aho – Korpi 2009, 35.)

6.2.2 Puurakenteinen alapohja

Puurakenteisilla tuulettuvilla alapohjilla on olennaista ryömintätilan tehokas tuuletus. Lattiarakenteen tuulensuojan tulisi olla lämpöä eristävä, kosteutta kestävä sekä riittävän ilmatiivis, jottei ryömintätilan kylmä ilma pääse alapohjarakenteen lämmöneristekerrokseen. Tuulensuoja ei saa kuitenkaan toimia rakenteessa höyrynsulkuna, koska se sijaitsee rakenteen kylmässä pinnassa. (Aho – Korpi 2009, 22.)

Kuvassa 13 on esitetty puurakenteinen ryömintätilainen alapohja, jonka kantavana rakenteena on puupalkisto (Aho – Korpi 2009, 36).



KUVA 13. Puurakenteinen tuulettuva (ryömintätilainen) alapohja ja puurakenteisen ulkoseinän ja alapohjan liitos (Aho – Korpi 2009, 36)

Kuvan 13 mukaista ratkaisua käytetään kohteissa, joissa on puurakenteinen tuulettuva alapohja ja puurankaseinä. Seinän ilmansulkuna on kalvo tai levy. Lattian ilmansulkukalvo käännetään seinän ilmansulun sisäpuolelle sisäverhouslevyn alareunan kiinnityspuun takaa (1). Kiinnityspuulla puristetaan ilmansulkujen limityskohta yhteen. Lattian ilmansulkukalvon reuna teipataan kiinni seinän ilmansulkuun (2) riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä. (Aho – Korpi 2009, 37.)

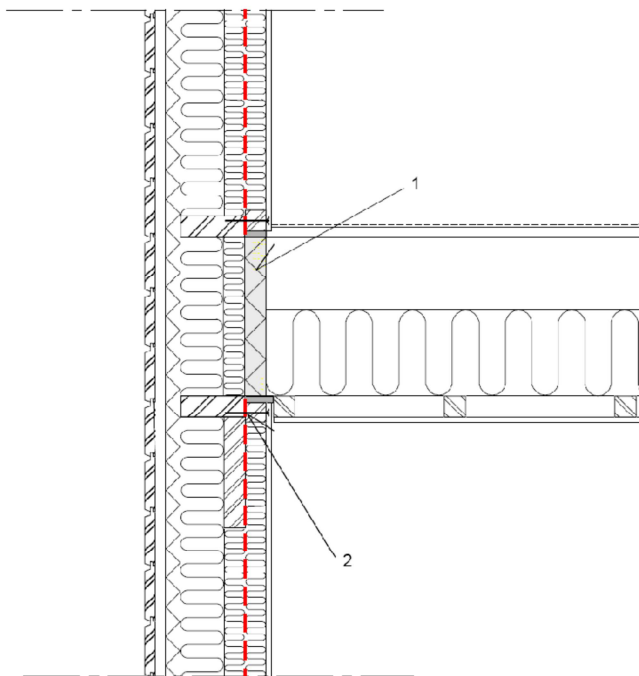
Lattian ilmansulku voidaan toteuttaa solumuovieristyslevyllä, jolloin levyjen väliset saumat vaahdotetaan tiiviiksi. Puurakenteen ja harkon väliin asennetaan

bitumikermikaista kapillaarikatkoksi. Ryömintätilaan järjestetään hyvä tuuletus ja sen maanpinta eristetään esimerkiksi kevytsorakerroksella. (Aho – Korpi 2009, 37.)

6.3 Välipohja

6.3.1 Välipohjan ja ulkoseinän liitos muovikalvon avulla

Kuvassa 14 on esitetty puurankatalon välipohjan ja ulkoseinän liitos, kun seinän ilmansulkuna on kalvo (Aho – Korpi 2009, 68).



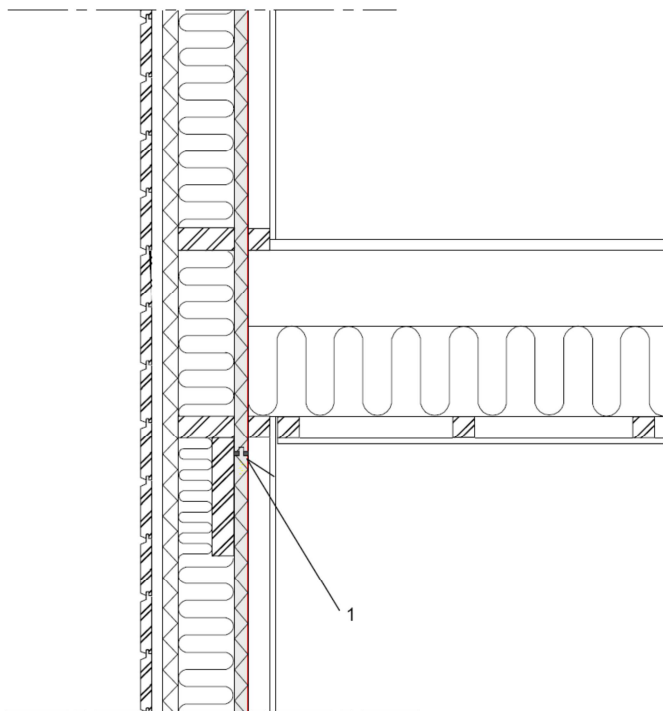
KUVA 14. Puurankatalon välipohjan ja ulkoseinän liitos, kun seinän ilmansulkuna on kalvo (Aho – Korpi 2009, 68)

Kuvan 14 mukaista ratkaisua käytetään puurankaisissa monikerroksisissa taloissa, joiden seinien ilmansulkuna on kalvo. Seinän ilmansulkukalvo puristetaan alemmassa kerroksessa sisäverhouslevyn yläkiinnitysrimalla tiiviiksi seinän yläohjauspuuhun (2) tiheällä ruuvikiinnityksellä k300. Ylemmässä kerroksessa

tehdään vastaava tiivistys seinän alajuoksupuuhun. Välipohjan kohdalle palkki-
en väliin tiivistetään vaahdottamalla solumuovieristyslevyt (1). (Aho – Korpi
2009, 69.)

6.3.2 Välipohjan ja ulkoseinän liitos solumuovieristyslevyn avulla

Kuvassa 15 on esitetty puurankatalon välipohjan ja ulkoseinän liitos, kun seinän
ilmansulkuna on solumuovieristyslevy (Aho – Korpi 2009, 70).



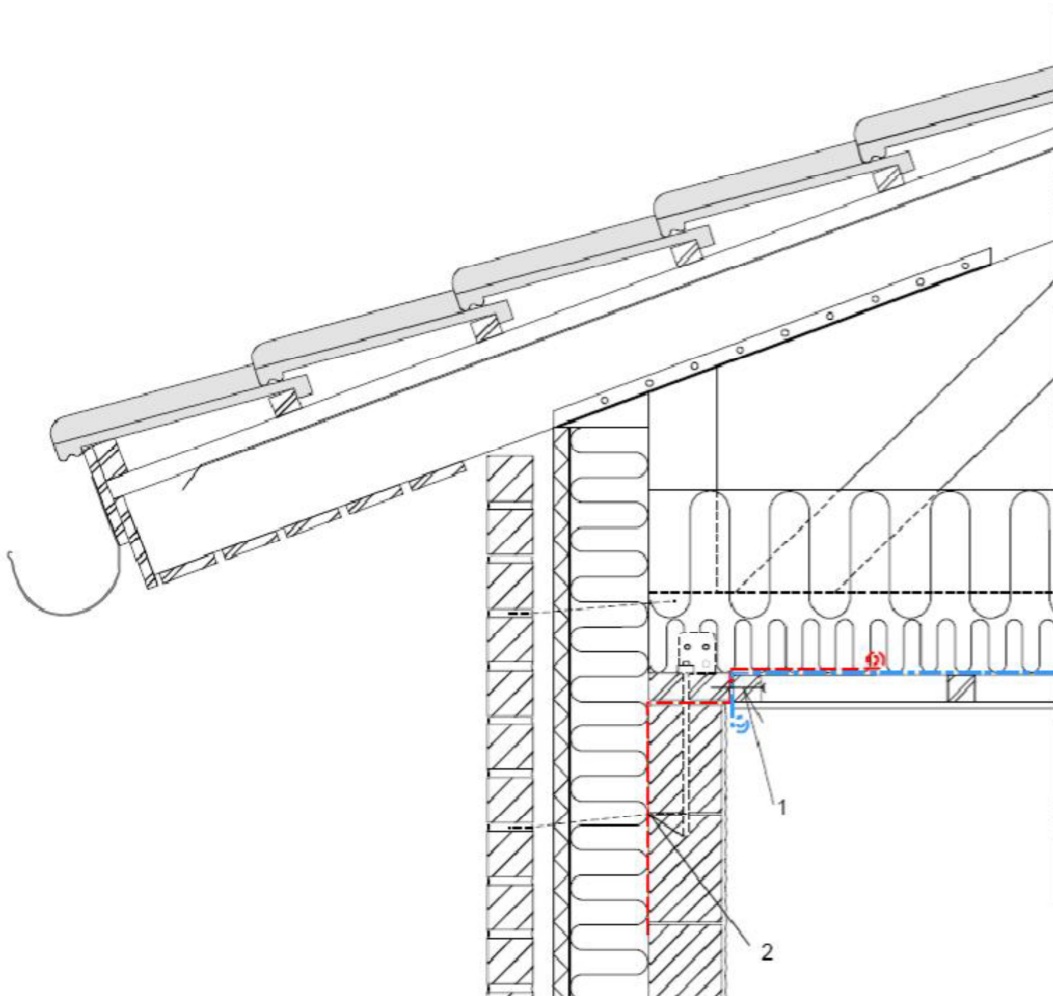
KUVA 15. Puurankatalon välipohjan ja ulkoseinän liitos, kun seinän ilmansulkuna on solumuovieristyslevy (Aho – Korpi 2009, 70)

Kuvan 15 mukaista ratkaisua käytetään puurankaisissa monikerroksisissa ta-
loissa, joiden seinien ilmansulkuna on käytetty solumuovieristyslevyä. Seinän
ilmansulkulevyyn tehdään välipohjapalkkeja varten aukot ja palkit vaahdotetaan
kiinni ilmansulkulevyyn. Seinän ilmansulkulevy tuodaan yhtenäisenä välipohjan
alapuolelle (1) ja saumataan vaahdolla. (Aho – Korpi 2009, 71.)

6.4 Yläpohja-ulkoseinä

6.4.1 Puurakenteinen yläpohja ja kivirakenteinen ulkoseinä

Kuvassa 16 on esitetty kivirakenteisen ulkoseinän ja puuyläpohjan liitos, kun puuyläpohjassa ilmansulkuna on kalvo (Aho – Korpi 2009, 40).



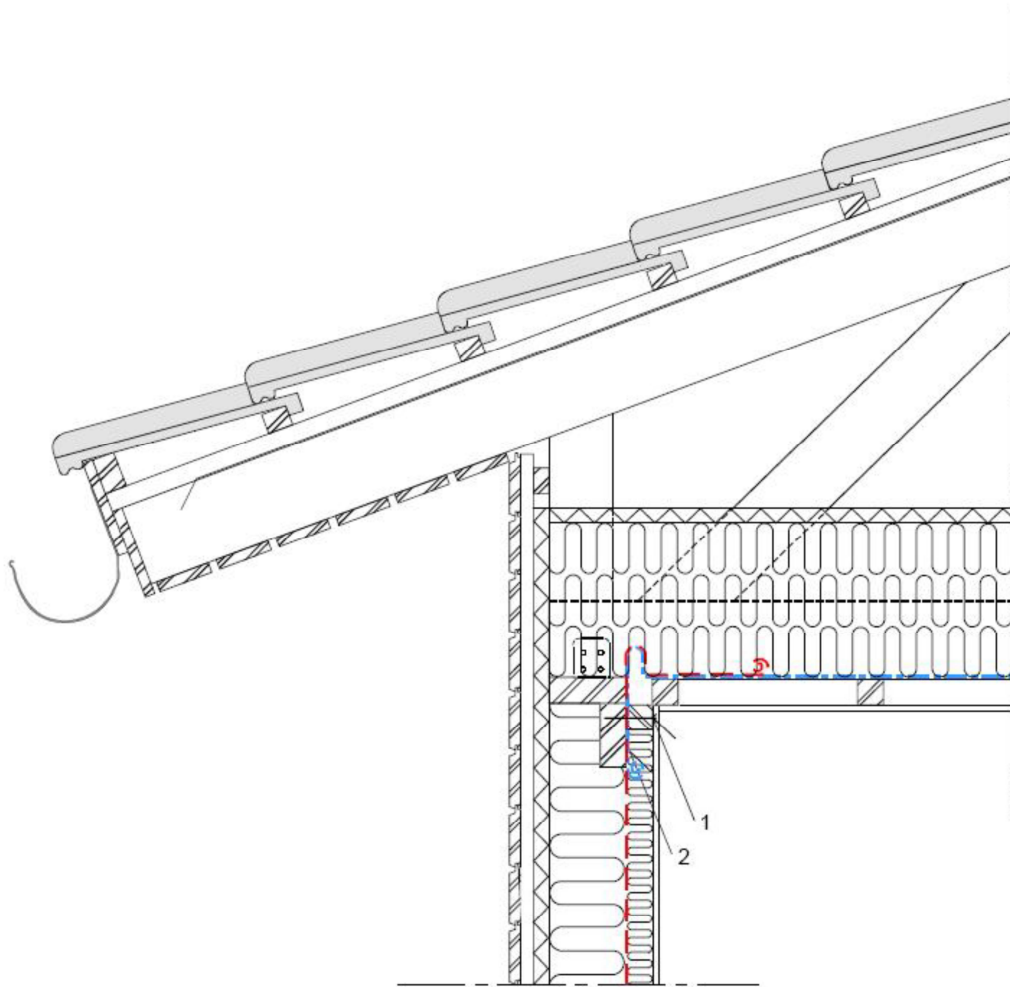
KUVA 16. Puuyläpohjan ja kivirakenteisen ulkoseinän liitoksen tiivistys höyrynsulkumuovikaistalla (Aho – Korpi 2009, 40)

Kuvan 16 toteutustapaa tehdään kohteissa, joissa on kivirakenteiset (harkko/tiili) ulkoseinät sekä erillinen lämmöneristekerros. Puuyläpohjassa on ilman-

sulkuna kalvo. Harkkoseinän päälle asetetaan höyrynsulkumuovikaista, joka käännetään yläpohjan ilmansulun kanssa limittäin. Kaistan tulee ulottua seinässä alaspäin vähintään 500 mm matkan (2). Näin varmistetaan ylimpien harkko-kerrosten ilmanpitävyys, mikäli pinnoitteisiin syntyy halkeamia saumojen kohdille, ja estetään ilman virtaus yläjuoksupuun alta suoraan eristetilaan. Liitos puristetaan pystysuunnassa tiiviiksi alaslaskun kohdalta, riman ja tasakertapuun väliin (1), riittävän tiheällä ruuvikiinnityksellä k300. Liitoksen ilmatiiviys voidaan puristuksen lisäksi varmistaa saumaamalla puiden väliin jäävä rako alapuolelta kitillä tai elastisella massalla. Rakennuksen nurkissa ilmansulkukalvot laskostetaan, limitetään ja teipataan yhteen. (Aho – Korpi 2009, 40.)

6.4.2 Puurakenteinen yläpohja ja puurakenteinen ulkoseinä

Kuvassa 17 on esitetty puurakenteisen yläpohjan ja ulkoseinän välinen liitos, kun ilmansulkuina käytetään kalvoja (Aho – Korpi 2009, 50).

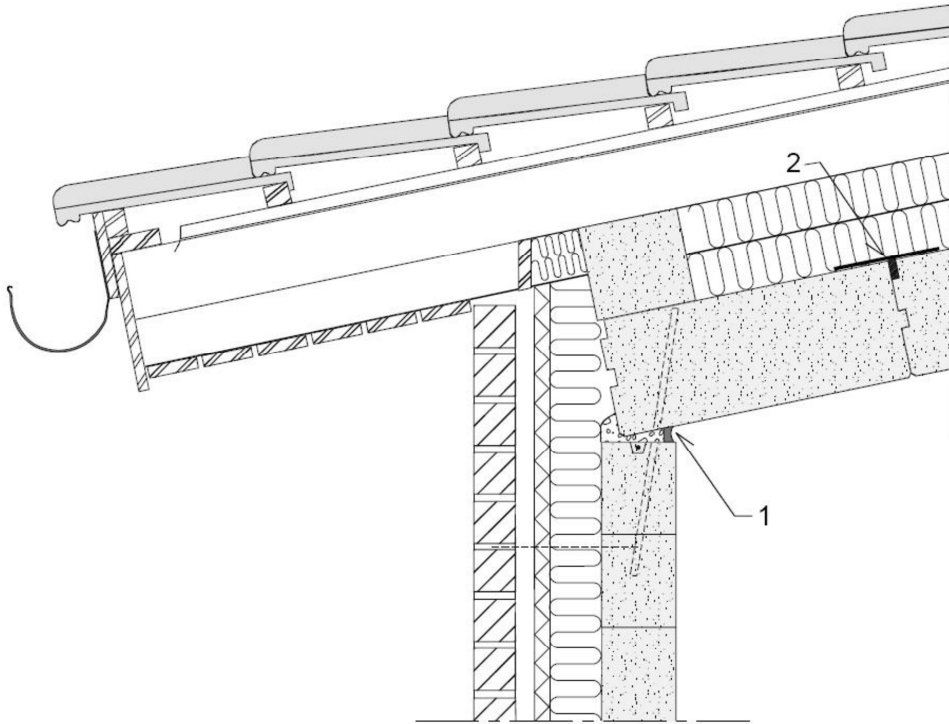


KUVA 17. Puurakenteisen yläpohjan ja ulkoseinän välinen liitos, kun ilmansulkuna käytetään kalvoja (Aho – Korpi 2009, 50)

Kuvan 17 toteutustapaa käytetään kohteissa, joissa yläpohjan ja ulkoseinän ilmansulkuina käytetään kalvoja. Yläpohjan ilmansulkukalvo tuodaan ulkoseinän ilmansulkukalvon kanssa limittäin vähintään sisäverhouslevyn yläreunan kiinnitysriman alapuolelle (2). Liitos puristetaan tiiviiksi edellä mainitulla rimalla (1) riittävän tiheällä ruuvikiinnityksellä k300. Ilmansulkukalvojen limityksen tulee olla riittävän pitkä eli seinän ilmansulkukalvo viedään yläpohjan ilmansulkukalvon päälle lämmöneristeen alle. Samanlainen ratkaisu toimii myös päätyseinällä. Rakennuksen nurkissa ilmansulkukalvot laskostetaan, limitetään ja teipataan yhteen. (Aho – Korpi 2009, 51.)

6.4.3 Kivirakenteinen yläpohja-kivirakenteinen ulkoseinä

Kuvassa 18 on esitetty kevytbetonitalon ulkoseinän ja yläpohjan liitos sivuräyställä (Aho – Korpi 2009, 64).

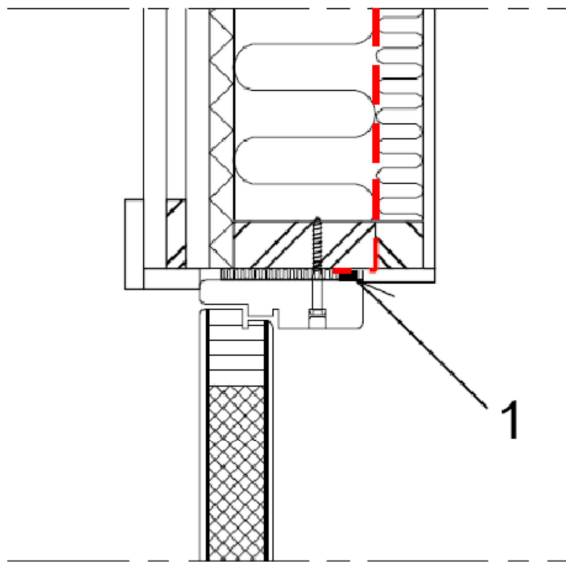


KUVA 18. Kevytbetonitalon ulkoseinän ja yläpohjan liitos (Aho – Korpi 2009, 64)

Kuvan 18 toteutustapaa käytetään kevytbetoniharkkotaloissa, joissa myös yläpohja on tehty kevytbetonielementeistä. Liitos tiivistetään vaahdottamalla ja sen lisäksi ilmanpitävyys varmistetaan tiivistämällä sauma sisäpuolelta elastisella kittauksella (1). Yläpohjaelementtien välisen sauman yläpuolelle suositellaan asennettavaksi erillinen 200 mm kapea kaista (2) ilmansuluksi. Kaista voi olla esimerkiksi kumibitumikermikaista, joka estää mahdollisista sauman halkeamisesta aiheutuvat virtaukset yläpohjan läpi. (Aho – Korpi 2009, 65.)

6.5 Ikkunat ja ovet

Kuvassa 19 on esitetty oven tiivistäminen seinärakenteeseen puurankatalossa (Aho – Korpi 2009, 80).

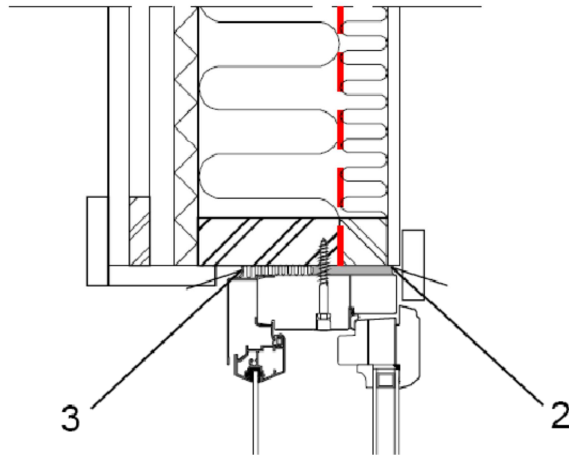


KUVA 19. Oven tiivistäminen seinärakenteeseen puurankatalossa (Aho – Korpi 2009, 80)

Kuvan 19 mukaista ratkaisua käytetään kohteissa, joissa ovien asennuksessa ei tarvitse ottaa huomioon rakenteen painumista. Ovi voidaan tiivistää mineraalivillalakaistalla. Ilmanpitävyys toteutetaan elastisella kittauksella sisäpinnassa (1). (Aho – Korpi 2009, 81.)

Ovien tiivistystyössä on huolellisuus erityisen tärkeää. Karmien tiivisteiden kunto ja toiminta tulee tarkastaa niiden asentamisen yhteydessä. Ohjekuvassa ovi on asennettu lähelle seinän ulkopintaa helpottamaan sen aukeamista. (Aho – Korpi 2009, 81.)

Kuvassa 20 on esitetty ikkunan tiivistäminen seinärakenteeseen puurakenteisessa talossa (Aho – Korpi 2009, 80).

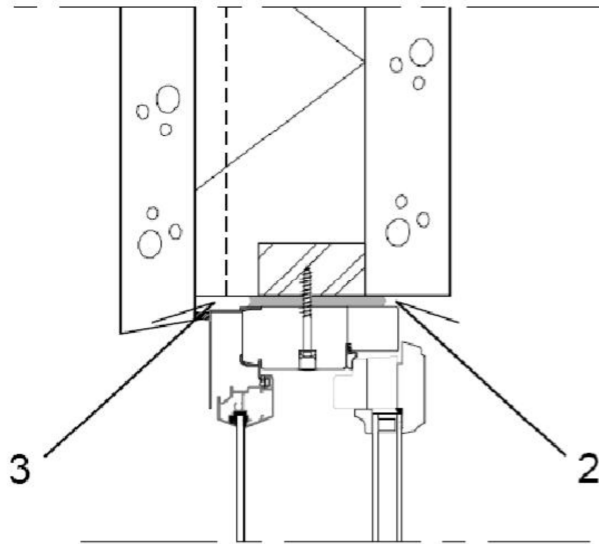


KUVA 20. Ikkunan tiivistäminen seinärakenteeseen puurakenteisessa talossa (Aho – Korpi 2009, 80)

Kuvan 20 mukaista ratkaisua käytetään kohteissa, joissa ikkunoiden asennuksessa ei tarvitse ottaa huomioon rakenteen painumista. Ikkuna tiivistetään mineraalivillalla ja ainoastaan tiivistyksen sisäpinnassa on polyuretaanivaah-tosauma. Mikäli seinän ilmansulkukalvo olisi suoraan sisäpinnan levyn takana, ilmansulkukalvon reunat tiivistetään ikkunan ympäri riittävän tartuntakyvyn ja pitkäaikaiskestävyyden omaavalla teipillä. (Aho – Korpi 2009, 81.)

Ikkunoiden tiivistystyössä on huolellisuus erityisen tärkeää. Karmien tiivisteiden kunto ja toiminta tulee tarkastaa niiden asentamisen yhteydessä. (Aho – Korpi 2009, 81.)

Kuvassa 21 on esitetty ikkunan tiivistäminen seinärakenteeseen betonirakenteisessa talossa (Aho – Korpi 2009, 80).



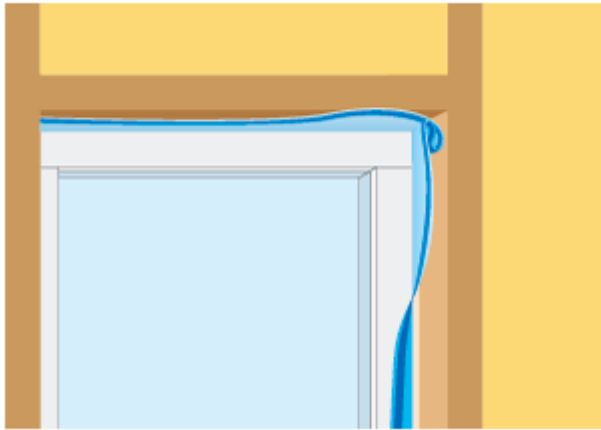
KUVA 21. Ikkunan tiivistäminen seinärakenteeseen betonirakenteisessa talossa (Aho – Korpi 2009, 80)

Kuvan 21 mukaista ratkaisua käytetään kohteissa, joissa ikkunoiden asennuksessa ei tarvitse ottaa huomioon rakenteen painumista. Ikkuna voidaan tiivistää polyuretaanivaahdolla. Polyuretaanivaahdosauman tulee yltää elementin sisäkuoren ja karmin väliin (2). Vaahdolla ei täytetä koko väliä, vaan ulkoreunaan tulee jättää tuuletusrako (3). Sisäreunasta tulee varmemmin tiivis, kun vaahdotus tehdään kahden jäykän pinnan väliin. (Aho – Korpi 2009, 81.)

Ikkunoiden tiivistystyössä on huolellisuus erityisen tärkeää. Karmien tiivisteiden kunto ja toiminta tulee tarkastaa niiden asentamisen yhteydessä. (Aho – Korpi 2009, 81.)

Ikkuna- ja oviaukot voidaan tiivistää ympäröiviin rakenteisiin ulkopuolelta Contega EXO -liitosnauhalla. Puutaloissa käytetään sisäpuolella Contega SL -

liitosnauhaa. Kuvassa 22 on esitetty karmin tiivistäminen ympäröivään puurakenteeseen puurakenteisessa talossa. (Tiivistalo. 2011.)



KUVA 22. Ikkuna- ja oviaukon tiivistäminen seinärakenteeseen puurakenteisessa talossa (Tiivistalo. 2011)

Kuvan 22 mukainen ratkaisu tehdään tiivistämällä karmi ympäröivään rakenteeseen Contega SL -liitosnauhalla, joka suositellaan kiinnittämään karmiin ennen karmin asentamista paikoilleen. Nauha liimataan suojapaperia purkaen karmin ulkokehän sisäreunaan. Karmin kulmiin tehdään ylityslenkki, jota purkamalla nauha saadaan asettumaan rakenteen nurkkiin. Kun karmi on kokonaan kierretty, liitosnauhan päät liimataan ilmatiiviisti toisiinsa ORCON F – liimatiivistysmassalla. Tämän jälkeen asennetaan ikkunaelementti paikoilleen. Karmin kulmien kohdalla ylityslenkin laskostusta puretaan nauhaa painamalla niin, että nauha asettuu tiiviisti ympäröivän rakenteen nurkkiin. (Tiivistalo. 2011.)

Contega SL- ja EXO-liitosnauhat liimataan rakenteeseen suojapaperia purkaen. Huokoisilla alustoilla ilmatiiveys varmistetaan tarvittaessa ORCON F - liimatiivistysmassalla. Tiivistysmassa levitetään mutkittelevana kuviona ympäröivän rakenteen pintaan. Liitosnauha painetaan tiivistysmassaan rakenteen nurkasta alkaen ja suojapaperi poistetaan. (Tiivistalo. 2011.)

Ikkuna- ja oviaukot voidaan tiivistää ympäröiviin rakenteisiin ulkopuolelta Contega EXO -liitosnauhalla. Kivitaloissa käytetään sisäpuolella Contega Fc -liitosnauhaa. Kuvassa 23 on esitetty karmin tiivistäminen seinärakenteeseen betonirakenteisessa talossa. (Tiivistalo. 2011.)



KUVA 23. Ikkuna- ja oviaukon tiivistäminen seinärakenteeseen betonirakenteisessa talossa (Tiivistalo. 2011)

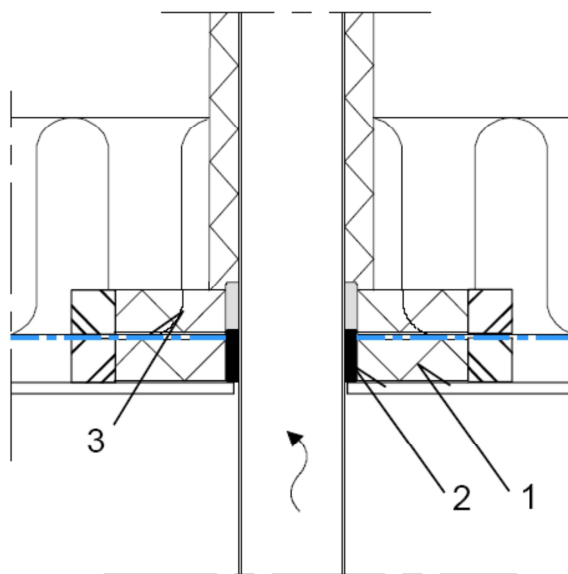
Kuvan 23 mukainen ratkaisu tehdään tiivistämällä karmi ympäröivään rakenteeseen Contega SL -liitosnauhalla, joka suositellaan kiinnittämään karmin ennen karmin asentamista paikoilleen. Nauha liimataan suojapaperia purkaen karmin ulkokehän sisäreunaan. Karmin kulmiin tehdään ylityslenkki, jota purkamalla nauha saadaan asettumaan rakenteen nurkkiin. Kun karmi on kokonaan kierretty, liitosnauhan päät liimataan ilmatiiviisti toisiinsa Orcon F –liimatiivistysmassalla. (Tiivistalo. 2011.)

Tämän jälkeen asennetaan ikkunaelementti paikoilleen. Karmin kulmien kohdalla ylityslenkin laskostusta puretaan nauhaa painamalla niin, että nauha asettuu tiiviisti ympäröivän rakenteen nurkkiin. (Tiivistalo. 2011.)

Contega SL- ja EXO-liitosnauhat liimataan rakenteeseen suojapaperia purkaen. Huokoisilla alustoilla ilmatiiveys varmistetaan tarvittaessa Orcon F –liimatiivistysmassalla. Tiivistysmassa levitetään mutkittelevana kuviona ympäröivän rakenteen pintaan. Liitosnauha painetaan tiivistysmassaan rakenteen nurkasta alkaen ja suojapaperi poistetaan. Kivitalojen sisäpuolella käytettävää Contega FC -liitosnauhaa ei tarvitse liimata rakenteeseen, vaan se jätetään tasoitetöiden yhteydessä tasoitteen sisään. (Tiivistalo. 2011.)

6.6 Läpiviennit

Kuvassa 24 on esitetty putkiläpivientien tiivistys solumuovieristyslevykauluksella (Aho – Korpi 2009, 86).

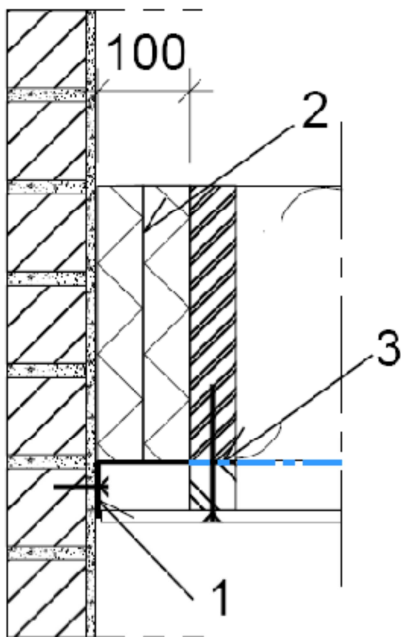


KUVA 24. Putkiläpivientien tiivistäminen solumuovieristyslevykauluksella (Aho – Korpi 2009, 86)

Kuvan 24 mukaista ratkaisua käytetään puurankarakenteiden läpivienneissä, joissa rakenteen ilmansulkuna on kalvo. Ratkaisua voidaan käyttää myös tapa-

uksissa, joissa monta putkea läpäisee ilmansulun monesta kohdasta. Koolausrimojen väliin vaahdotetaan solumuovieristyslevy (1). Levyn takana on ehjä rakenteen ilmansulku. Putkia varten tehdään reiät levykauluksen ja ilmansulun läpi, jonka jälkeen läpivientiputki vaahdotetaan tiiviisti levykaulukseseen (2). Vaahdon tulee ulottua levyn taakse, jotta myös ilmansulkukalvon reunat tiivistyvät. Vaihtoehtoisesti myös ilmansulun toiselle puolelle voidaan asentaa solumuovieristyslevy (3), mikä edellyttää erillisten koolausrimojen asennusta rakenteeseen. (Aho – Korpi 2009, 87.)

Kuvassa 25 on esitetty paikalla muurattavan tiilirakenteisen savuhormin läpivienti puuyläpohjasta (Aho – Korpi 2009, 90).

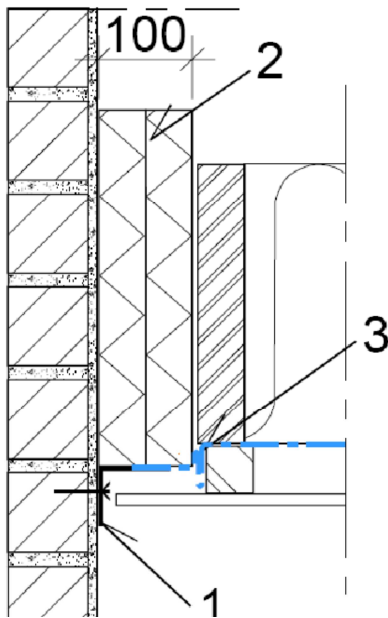


KUVA 25. Paikalla muurattavan tiilirakenteisen savuhormin läpivienti puuyläpohjasta (Aho – Korpi 2009, 90)

Kuvan 25 mukaista ratkaisua käytetään tehtäessä läpivienti puuyläpohjasta paikalla muurattavaan tiilirakenteiseen savuhormiin. Yläpohjan ilmansulkuna on

solumuovieristyslevy tai ilmansulkukalvo. Tiilihormin ympäri kiinnitetään peltikaulus (1), joka tukee palomääräysten vaatimaa A1-luokan eristystä (2) hormin ympärillä. Yläpohjan ilmansulkukalvo ja peltikaulus limitetään ja liitoskohta puristetaan kannattajaan (3). Samaa ratkaisua toteutetaan myös silloin, kun yläpohjan ilmansulkuna on solumuovieristyslevy. (Aho – Korpi 2009, 91.)

Kuvassa 26 on esitetty paikalla muurattavan tiilirakenteisen savuhormin läpivienti puuyläpohjasta, kun rungon painumavara otetaan huomioon (Aho – Korpi 2009, 94).

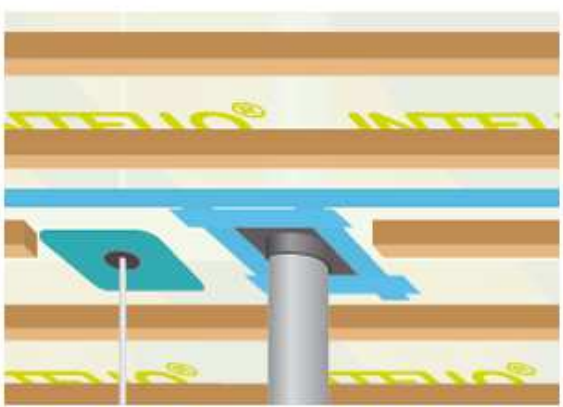


KUVA 26. Paikalla muurattavan tiilirakenteisen savuhormin läpivienti puuyläpohjasta, kun rungon painumavara otetaan huomioon (Aho – Korpi 2009, 94)

Kuvan 26 mukaista ratkaisua käytetään savuhormin läpiviennissä puuyläpohjan läpi, kun rungon painumavara otetaan huomioon. Yläpohjan ilmansulkuna on ilmansulkukalvo tai solumuovieristyslevy. Tiilihormin ympäri kiinnitetään peltikaulus (1), joka tukee palomääräysten vaatimaa A1-luokan eristystä (2) hormin ympärillä. Yläpohjan ilmansulkukalvo jätetään savuhormin ympäriltä pitkäksi ja

taitetaan ”pussille” kattokannattajan ja palosuojavillan väliin (3). Ilmansulkukalvon pää limitetään peltikauluksen ja A1-luokan eristeen väliin. Peltikauluksen tulee olla riittävän pitkä, jotta limitys voidaan toteuttaa. (Aho – Korpi 2009, 95.)

Höyrynsulun läpivientien tiivistämiseen voidaan käyttää valmiita läpivientikauluksia. Kaflex- läpivientikauluksissa on valmis liimapinta. Paksuille putkille tarkoitetut Roflex- läpivientikaulukset kiinnitetään alustaansa Tescon No. 1 -tiivistysteipillä. Kuvassa 27 on esitetty kaapelin ja putken läpiviennit höyrynsulun läpi Kaflex- ja Roflex-läpivientikauluksilla. (Tiivistalo. 2011.)



KUVA 27. Läpivientien tiivistys Kaflex- ja Roflex-läpivientikauluksilla (Tiivistalo. 2011)

Kuvan 27 mukaisessa ratkaisussa höyrynsulkuun tehdään putken tai kaapelin kokoinen aukko. Kaflex-läpivientikaulus asennetaan putken tai kaapelin ympärille ja hierretään tiiviisti alustaansa. Roflex-läpivientikaulusta käytettäessä leikataan teippirullasta lyhyitä paloja. Teipin suojapaperi irroitetaan ja teippi asennetaan puoliksi höyrynsulkuun ja puoliksi läpivientikauluksen reunaan. Lopuksi teippi hierretään alustaansa ilmatiiviiksi liitokseksi. (Tiivistalo. 2011.)

7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä ilmatiiveyden tärkeyteen suunniteltaessa ja rakentaessa uudisrakennuksia. Työssä käsiteltiin ilmatiiveyttä rakenteiden liitosdetaljiin osalta. Myös ikkuna- ja oviliittymät ympäröivään rakenteeseen sekä läpiviennit otettiin tarkasteluun mukaan. Lisäksi perehdyttiin ilmatiiveyden mittaamiseen teoriaosassa sekä käytännössä mittauskohteessa.

Työn ensimmäisenä vaiheena oli ilmatiiveysmittauksen seuranta ja sen dokumentointi. Ilmatiiveys mitattiin kohteeksi valitun Kiinteistö Oy Kuusamon Vuokratalojen rakennuksessa siinä vaiheessa, kun kaikki ulkovaipan ilmanpitävyyteen vaikuttavat rakennustyöt oli tehty valmiiksi, mutta vaipan mahdollista lisätiivistämistä voitiin vielä tehdä.

Ilmatiiveysmittauksen aikana helpotti noin 20 vuoden työkokemus rakennusalaan kirvesmiehenä. Kokemuksen kautta aikanaan saatu tieto auttoi osaltaan huomaamaan, missä mahdollisissa kohdissa huoneistoa ilmaantuu ilmavuoto-kohtia.

Paikkoja, joissa ilmeni ilmavuoto-kohtia, olivat lattian ja seinänrajan liittymäkohta, ontelolaataston saumakohta yläpohjassa, saunan/pesuhuoneen ikkunatiivistet ja pesuhuoneessa sijaitsevan hormin alakulma. Muita ilmavuoto-kohtia olivat ikkunakarmin ja asennusaukon väli sekä pistorasia, josta oli suoritettu putkitus suoraan parvekkeelle asennettavaan pistorasiaan sekä iv-läpivientikohta porraskäytävään.

Ilmanvuotoluku ei ylittynyt kummassakaan huoneistossa, joten mielestäni pääurakoitsija on onnistunut ilmatiiveyden toteutuksessa erinomaisesti. Lopputulokseen on myös mielestäni vaikuttanut rakenteiden ja liitosten huolellinen rakennesuunnittelu sekä rakennustyön valvonta rakennuttajan puolelta.

Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että ilmatiiveyden varmistamiseksi tulee työmaalla kiinnittää huomiota saumojen tiivistämiseen ontelolaatastoissa

ja läpivienneissä sekä lattian ja seinärajan liittymissä että ikkuna-asennuksissakin. Ovi- ja ikkunatiivisteet on myös syytä tarkistaa asennuksen aikana.

Ilmatiiveyden varmistaminen on yksi tärkeä osa rakentamisprojektin kokonaisuudesta. Ilmatiiveysmittauksesta saatu hyvä ilmanvuotoluku asettaa rakennuksen ilmanvaihdolle vaatimuksia, joiden tulee täyttyä suunnitelmien mukaan. Rakennushankkeen onnistumisen kokonaisedellytykset saavutetaan kuitenkin mielestäni kaikkien osapuolten, niin suunnittelijoiden, rakennuttajien, pääurakoitsijoiden, aliurakoitsijoiden kuin valvojien hyvällä ja mutkattomalla yhteistyöllä.

LÄHTEET

Aho, Hanna – Korpi, Minna 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tutkimusraportti 141. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Saatavissa:

http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/20820/ilmanpitavien_rakenteiden_ja_liitosten_toteutus_asuinrakennuksissa.pdf?sequence=3. Hakupäivä 26.9.2012.

C4. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Lämmöneristys. Ohjeet 2012. Luonnos. 16.3.2012. Ympäristöministeriö. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135351&lan=fi> . Hakupäivä 21.11.2012.

D2. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö. Saatavissa:

http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 29.1.2013.

D3. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö. Saatavissa:

http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 16.11.2012.

Fysikaaliset tekijät. 2013. Sisäilmayhdistys. Saatavissa:

http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/fysikaaliset_tekijat/#_kosteus. Hakupäivä 2.4.2013.

Illikainen, Kimmo 2013. T523206 Rakennusfysiikan sovellukset, 6 op. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2013. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Kokko, Erkki. 2002. Hengittävä puukuiturakenne. Fysikaalinen toimintaperiaate ja vaikutukset sisäilmaan. Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/hengittava-puukuiturakenne/koko-ohje.pdf>. Hakupäivä 28.3.2013.

Lahdensivu, Jukka – Suonketo, Jommi – Vinha, Juha – Lindberg, Ralf – Manelius, Elina – Kuhno, Vesa – Saastamoinen, Kari – Salminen, Kati – Lähdesmäki, Kimmo 2012. Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita. Tutkimusraportti 160. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Saatavissa:

<http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@l912/@web/@p/documents/liit/p034351.pdf>. Hakupäivä 8.11.2012.

Paloniitty, Sauli. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Suomen Rakennusmedia Oy.

Perälä, Seppo 2011. T522305 Talonrakennuksen talo-osat, 5 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Rakennusten ilmanpitävyys ja mittaukset. 2011. Energiatehokas koti-seminaari 7.4.2011. Saatavissa:

http://www.energiatehokaskoti.fi/Ajankohtaista_Energiatehokas_koti_hankkeesta.pdf. Hakupäivä 13.11.2012.

RT 14-10850. 2005. Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus. Rakennustieto Oy.

RT 21522. 2011. Rakentamismääräysten muistilista energiamääräysten aiheuttamista muutoksista pääsuunnittelijoille ja rakennuttajille. Rakennustieto Oy.

RT 21555. 2012. Rakentamismääräysten muistilista LVI-suunnittelijalle. LVI 00505. Rakennustieto Oy.

RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvalmistusohje. Rakennustieto Oy.

Tiiveyskortti. 2012. Pientalon laatu. Rakennusvalvonta Oulu. Saatavissa:
http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/pdf/Tiiveyskortti_A4-7_05_2012.pdf. Hakupäivä 28.3.2013.


Tiiveystilasto. 2012. Pientalon laatu. Rakennusvalvonta Oulu. Saatavissa:
http://www.ouka.fi/rakennusvalvonta/pdf/Tiiveyskortti19_10_2012.pdf. Hakupäivä 2.4.2013.

Tiivistalo. 2011. Läpivientikaulukset. Saatavissa:
<http://www.tiivistalo.fi/ohjeet/default.asp?sivu=tiivistaloj%E4rjestelm%E4&otsikko=3%20%E4piviennit&tunnus=221>. Hakupäivä 20.2.2013.

Vinha, Juha. 2012. Rakennusten ilmanpitävyys ja ilmatiiviiden rakenteiden toteutus. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa:
[http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/C835A9B30A33C18BC22579CA004A4A2F/\\$file/Lahti%20Ilmanpit%C3%A4vyys%20Juha%20Vinha_140312.pdf](http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/C835A9B30A33C18BC22579CA004A4A2F/$file/Lahti%20Ilmanpit%C3%A4vyys%20Juha%20Vinha_140312.pdf). Hakupäivä 3.10.2012.

RAKENNELEIKKAUKSET

- 1/9 PYSTYLEIKKAUS SOKKELI - SIVU-US
 2/9 PYSTYLEIKKAUS SIVU-US - VP
 3/9 PYSTYLEIKKAUS SIVU-US - YP
 4/9 VAAKALEIKKAUS SIVU-US - VS
 5/9 VAAKALEIKKAUS SIVU-US - PÄÄTY-US
 6/9 PYSTYLEIKKAUS SOKKELI - PÄÄTY-US
 7/9 PYSTYLEIKKAUS SIVU-US - VP
 8/9 PYSTYLEIKKAUS PÄÄTY-US - YP
 9/9 PYSTYLEIKKAUS AP - VS

Rakennuskohteen nimi ja osoite		Piirustuksen sisältö		Mittakaava		
KIINTEISTÖ OY KUUSAMON VUOKRATALOT NUOTTATIE 2 Nuottatie 2, 93600 KUUSAMO		RAKENNELEIKKAUKSET		1:10		
 INSINÖÖRITOIMISTO RONKAINEN OY KATTERANTIE 6 02600 KUUSAMO PUH. 08-6511744, TELEFAX 08-6511742 email: tina.ronkainen@insinööri.fi		Piirt.	Suunnitteluaika	Työn n:o	Piirustus n:o	
		Suunn.			Muutos	Lehti
		Tark.	RAK	11679	100	0/9
13.4.2011						

